

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Stanovení provozní spolehlivosti a nákladů na
údržbu vybraného typu traktoru

Determination of operational reliability and
maintenance costs of a selected type of tractor

Student: Janek Jaromír

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Famfulík Jan, Ph.D.

Ostrava 2021

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Jana Famfulíka, Ph.D. a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 17. května 2021

.....

Bc. Jaromír Janek

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, же podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 17. května 2021

.....

Bc. Jaromír Janek

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

JANEK, J. Stanovení provozní spolehlivosti a nákladů na údržbu vybraného typu traktoru: Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2021. Vedoucí práce: Famfulík, J.

Tato diplomová práce posuzuje spolehlivost a náklady na údržbu třech generací traktorů Case Puma CVX. V teoretické části jsou popsány používané metody pro výpočet spolehlivosti. V praktické části je ukázka výpočtů a porovnání spolehlivosti jednotlivých konstrukčních skupin i celých traktorů. Následně jsou porovnány náklady na údržbu jednotlivých traktorů.

ANNOTATION DIPLOMA THESIS

JANEK, J. Determination of operational reliability and maintenance costs of a selected type of tractor: Diploma Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of transportation, 2021. Thesis head: doc. Ing Jan Famfulík Ph.D.

This diploma thesis assesses the reliability and maintenance costs of three generations of Case Puma CVX tractors. The theoretical part describes the methods used to calculate the reliability. The practical part is a demonstration of calculations and comparison of the reliability of individual subassemblies and entire tractors. Then the maintenance costs of individual tractors are compared.

Poděkování

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Janu Famfůlkovi Ph.D. za konzultace, rady a nápady při vypracovávání mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě BV technika za ochotu a poskytnutí nezbytných materiálů k vytvoření této práce.

Obsah

Úvod.....	9
1. Historie.....	10
1.1. Historie firmy Case	10
1.2. Case IH nyní	11
2. Case Puma	11
2.1. První generace Case Puma CVX	11
2.1.1. Motor.....	12
2.1.2 Převodovka a PTO	13
2.1.3 Hydraulika.....	13
2.1.4 Kabina	13
2.1.5 Podvozek.....	14
2.1.6 Brzdy	14
2.2. Druhá generace Case Puma CVX.....	14
2.2.1 Motor.....	15
2.3. Třetí generace Case Puma CVX	15
2.3.1 Motor.....	16
2.3.2 Brzdy	16
2.3.3 Kabina	16
3. VÝPOČETNÍ METODY PRO STANOVENÍ SPOLEHLIVOSTI	17
3.1 Základní pojmy.....	17
3.1.1 ČSN EN ISO [9000: 2006]	17
3.1.2 ČSN IEC 50 (191)	17
3.2 Teorie spolehlivosti	18
3.2.1 Vlastnosti náhodné veličiny	19
3.2.2 Náhodný jev	19
3.2.3 Rozptyl náhodné veličiny	19
3.2.4 Histogram četnosti	20
3.2.5 Hustota pravděpodobnosti	20
3.2.6 Distribuční funkce.....	21
3.2.7 Intenzita náhodné veličiny.....	21

3.3 Vybrané zákony rozdělení pravděpodobnosti	22
3.3.1 Weibullovo rozdělení.....	22
3.3.2 Exponenciální rozdělení.....	24
3.4 Zkoušky spolehlivosti	26
3.4.1 Zkoušky spolehlivosti s použitím zkušebních plánů	26
4. Zpracování získaných experimentálních dat	30
4.1 Popis a zpracování získaných dat	31
5. Výpočet a porovnání úrovně spolehlivosti traktorů	33
5.1 Střední doba do poruchy jednotlivých traktorů	33
5.2 Střední doba do poruchy jednotlivých konstrukčních skupin	37
5.3 Střední doba v údržbě Tsu jednotlivých traktorů	41
5.4 Střední doba v údržbě jednotlivých konstrukčních skupin.....	45
5.5 Celkové náklady na údržbu jednotlivých traktorů	49
5.6 Celkové náklady na údržbu traktorů na 100 mth	50
6. Závěr	52
7. Seznam použité literatury	53
8. Seznam tabulek	54
9. Seznam obrázků.....	55
SEZNAM PŘÍLOH	56

Seznam použitých zkratk a symbolů

CVX	označení pro plynulou převodovku traktorů Case
SCR	selektivní katalytická reakce
PTO	pomocný pohon
NOx	oxidy dusíku
α	Parametr Weibullova dvouparametrického rozdělení
β	Parametr Weibullova dvouparametrického rozdělení
$\lambda(t)$	Intenzita poruch náhodné veličiny
μ	Střední hodnota náhodné veličiny
σ	Rozptyl náhodné veličiny
χ^2	Chí kvadrát
$E(x)$	Exponenciální rozdělení
$f(t)$	Hustota distribuční funkce
$F(t)$	Distribuční funkce
c	Parametr polohy
m	Parametr tvaru
q	Parametr přímky
Mth	Motohodiny
N	Počet stupňů volnosti
N_p	Celkový počet poruch
P	Pravděpodobnost
t	Časová proměnná
T	Náhodná veličina
T_s	Střední doba do poruchy
W2p	Weibullovo dvouparametrické rozdělení
W3p	Weibullovo tříparametrické rozdělení

Úvod

Cílem této diplomové práce je posouzení provozní spolehlivosti a výpočet nákladů na údržbu traktorů Case Puma CVX. V této práci jsou posuzované a porovnávány 3 generace těchto traktorů.

Na začátku teoretické části je popsána historie firmy Case. Dále jsou podrobně popsány jednotlivé generace těchto traktorů a jejich konstrukční celky. Poté jsou popsány jednotlivé pojmy a veličiny, které jsem použity pro určení spolehlivosti a nákladů na údržbu.

Druhá část této práce je věnována samotným výpočtům a analýze získaných informací. Traktory jsou porovnávány jako celek a také dle konstrukčních skupin. Následně je porovnány jejich náklady na údržbu. Posuzováno a porovnáváno je celkem 15 traktorů.

1. Historie

1.1. Historie firmy Case

Historie firmy Case sahá až do roku 1842, kdy Jerome Increase Case založil svou společnost J. I. Case Company v městě Racine ve Wisconsinu a velmi brzy získal uznání jako první výrobce parního stroje pro zemědělské účely. V době, kdy Jerome působil ve své společnosti jako prezident, vyrobila jeho firma více mlátiček a parních strojů než kterýkoliv jiný výrobce do té doby. Jerome byl také 3x zvolen starostou a po dvě volební období byl senátor za oblast Racine. Do své společnosti také přizval 3 společníky a společně vytvořili své logo, kde sedí orel na zeměkouli a nechali si jej patentovat jako ochrannou známku. [1]



Obrázek 1 logo firmy J. I. Case Company [2]

Roku 1869 vyrobili svůj první parní stroj, který měl název Old No. 1. Měl sice motor montovaný na kolech a stále jej muselo táhnout koňské spřežení a používal se pouze řemenový pohon k dalšímu přídatnému zařízení. První stroj s trakcí vyrobila firma Case až v roce 1876. V roce 1878 vyráběli 220 strojů za rok a poslali svou první mlátičku do zámoří kde ihned dostala ocenění v Paříži. O dva roky později byla společnost J. I. Company rozpuštěna a vznikla nová s názvem J. I. Case Threshing Machine Company. Roku 1886 se stal Case největším výrobcem parních strojů na světě.

22. prosince 1891 Jerome Increase zemřel a funkci prezidenta společnosti převzal jeden z partnerů Stephen Bull. Ve stejném roce také společnost Case začala vyvíjet motor se spalovacím pohonem pro své traktory. První oficiální traktor Case s benzínovým dvouválcovým motorem byl vyroben roku 1910 a nesl název Case 30-60.

Roku 1924 se stal prezidentem společnosti Leon R. Clausen, který už u firmy Case pracoval delší dobu a předtím pracoval pro výrobce zemědělských strojů John Deere. Firma pod vedením Clausena ihned přestala vyrábět parní stroje, které již byly zastaralé a začala se věnovat vývoji čtyřválcového benzínového spalovacího motoru. Ty příšly roku 1929 v modelech L a C.

Během druhé světové války firma vyráběla široký sortiment výrobků pro válečné účely jako například náboje, křídla pro bombardéry nebo podvozky protiletadlových děl. Po válce se firma Case opět na plno věnovala traktorům a do traktorů byly montovány vznětové motory. Další roky vývoj traktorů velmi rychle postupoval a trh si žádal stále výkonnější traktory. Proto byly vyvíjeny šesti či osmi válcové motory, které byly opatřeny turbem a k nim i různé typy převodovek. [1]

1.2. Case IH nyní

Firma Case dnes na trhu nabízí širokou škálu strojů pro zemědělství ale také pro stavební průmysl. V zemědělském odvětví se stále specializuje na traktory s výkonem od 50 koní až do 692 koní. Ty největší traktory od firmy Case se nazývají Quadtrac a jsou to kloubové traktory dodávané buď s podvozkem na kolech nebo na pásech, což je v Česku oblíbenější varianta. Traktory Quadtrac patří mezi největší sériově vyráběné traktory na celém světě. Kromě traktorů se firma Case zabývá výrobou kombajnů, lisů na kulaté či hranolové balíky a manipulátory. Ve stavebním odvětví se firma věnuje výrobou nakladačů, rypadel, grejdrů atd.

2. Case Puma

Traktory Case Puma se vyrábí od roku 2009 do dnes. Momentálně se na trhu prodává už čtvrtá generace. Tato práce analyzuje a porovnává první 3 generace těchto traktorů.

2.1. První generace Case Puma CVX

První generace traktorů Case Puma CVX byla vyráběna v letech 2009 až 2011. Tyto traktory byly vyvinuty, testovány a vyráběny v evropském centru Case v St. Valentinu v Rakousku. V této diplomové práci bude z této generace posuzováno celkem 5 traktorů, které byly prodány u nás v ČR. Níže jsou rozděleny a popsány jednotlivé konstrukční skupiny, podle kterých budou traktory analyzovány.



Obrázek 2 Case Puma 225 CVX první generace [4]

2.1.1. Motor

První generace traktorů Case Puma nabízela celkem 5 výkonnostních variant o jmenovitém výkonu 165, 180, 195, 210 a 225 koní. Ve všech modelech je použit naftový vodou chlazený motor s šesti válci a čtyřmi ventily na každý válec. Válce mají vrtání 104 mm a zdvih 132 mm. Zdvihový objem 6728 cm³ a kompresní poměr 16,5:1. Je opatřen turbodmychadlem a mezistupňovým chladičem. Jmenovité otáčky pro všechny modely jsou 850 ot. /min a maximální otáčky bez zatížení až 2375 ot. /min. Chladicí systém je opatřen ventilátorem s devíti lopatkami o průměru 620 mm. Palivová nádrž má celkový objem 412 litrů. [3]



Obrázek 3 Šestiválcový motor traktorů Case Puma CVX [4]

2.1.2 Převodovka a PTO

Analyzované traktory jsou osazeny bezstupňovou plynulou převodovkou CVX. To znamená, že rychlost traktoru lze bezstupňově měnit v rozmezí od 0 až po 50 km.h⁻¹. Technické řešení převodovky má tři základní části. Tou první je mechanická část, která je tvořena planetovým převodem s třecími spojkami pro vysokou účinnost přenášení výkonu. Dále je zde hydrostatická část, která slouží k bezstupňové plynulé změně převodu. Poslední částí je elektronika sloužící k vyhodnocování dat všech snímačů pro efektivní provoz traktoru. Výkon od motoru se tedy v převodovce větví na mechanickou a hydrostatickou část. [9]

Zadní vývodové hřídele traktorů Puma pracují ve dvou provozních režimech s otáčkami 540 i 1000 min⁻¹. Na přání lze traktory dovybavit předním vývodovým hřídelem, který pracuje pouze v otáčkách 1000 min⁻¹. [3]

2.1.3 Hydraulika

Hydraulická soustava traktorů Puma CVX je poháněna axiálním pístovým čerpadlem o průtoku až 170 l/min a tlaku 215 bar při 2100 ot. /min motoru. Čerpadlo umožňuje citlivé ovládání hydraulicky ovládaných strojů nebo čelního nakladače. Traktor je možné vybavit až 9 elektronicky ovládanými vnějšími okruhy s možností potřebného nastavení průtoku a časování. Ovládání hydraulických okruhů nebo čelního nakladače se provádí pomocí loketní opěrky MulticontrollerTM v kabině řidiče. [4]

Traktory jsou dále vybaveny zadním tříbodovým závěsem se zvedací kapacitou až 10460 kg s ovládáním na loketní opěrce uvnitř kabiny nebo i eventuálně vně kabiny pomocí tlačítek na blatnících. Traktory lze dovybavit i předním tříbodovým závěsem o zvedací kapacitě až 3785 kg. [3]

2.1.4 Kabina

Kabina traktorů Case Puma CVX nese název Surround Vision a nabízí výhled obsluze s prosklenou plochu 5,87 m² pro přehledný a bezpečný provoz stroje. Kabina je dobře utěsněná s nízkou hlučností pouze 69 decibelů. Všechny traktory jsou sériově vybaveny klimatizací. Volant si může obsluha nastavit výškově a také naklonit podle svých požadavků. [4]

Nejdůležitější ovládací prvky potřebné k práci najdeme na loketní opěrce, která je připevněna k odpružené sedačce traktoru. Sedačku je možno také nastavit podle potřeb traktoristy a dovybavit vyhříváním a aktivním tlumením kmitů. Obsluha má v kabině neustále přehled o různých provozních funkcích jako otáčky motoru, otáčky PTO, spotřeba, rychlost atd. [4]



Obrázek 4 kabina traktorů Case Puma CVX první generace [4]

2.1.5 Podvozek

Podvozek je ve standardu vybaven manuálním nebo automatickým spínáním pohonu přední nápravy a uzávěrkou diferenciálu. Dále jsou traktory standardně vybaveny hydraulickým odpružením přední nápravy s délkou zdvihu až 105 mm. Přední náprava je také vybavena systémem automatického vyrovnávání v závislosti na zatížení. Konstruktivní řešení náprav dovozuje dosahovat provozní rychlosti až 50 km.h⁻¹. [4]

2.1.6 Brzdy

Provozní brzda je zde kotoučová samo nastavovací brzda v olejové lázni působící na hřídeli diferenciálu s posilovačem. Ruční brzda je opět kotoučová v olejové lázni působící na hřídeli pastorku a aktivuje se pomocí mechanické páky. [3]

2.2. Druhá generace Case Puma CVX

Druhá generace traktorů Case Puma CVX byla vyráběna v letech 2011 až 2015. Tato práce posuzuje opět 5 traktorů této generace, které byly prodány u nás v ČR. Design se oproti první generaci moc nezměnil ale změnil se jednotlivé konstrukční skupiny zejména motor. Níže jsou uvedeny a popsány jednotlivé konstrukční změny, které se u této generace změnilo oproti první generaci.



Obrázek 5 Case Puma 230 CVX druhé generace [6]

2.2.1 Motor

Druhá generace je opět osazena naftovým šestiválcovým motorem a na výběr je opět 5 výkonnostních variant o jmenovitém výkonu 170, 185, 200, 215 a 230 koní. Tato generace nabízí navíc i 3 menší modely o výkonu 130, 145 a 160 koní ale v této práci nejsou tyto menší modely zahrnuty. [6]

Významným rozdílem je, že všechny motory jsou vybaveny technologií selektivní katalytické reakce (SCR) z důvodu plnění emisní normy Tier4a, která platí od začátku roku 2011. Při spalování se ve výfukových plynech vytváří molekuly škodlivého oxidu dusíku (NOx). Vstříknutím roztoku močoviny (AdBlue) do výfukových plynů ještě před katalyzátorem lze přeměnit oxidy dusíku NOx na nezávadný elementární dusík a vodu. K tomu dojde, když molekuly NOx zareagují uvnitř katalyzátoru na teplo produkované motorem a amonium v roztoku AdBlue. [5]

2.3. Třetí generace Case Puma CVX

Třetí generace traktorů Case Puma CVX byla vyráběna v letech 2016 až 2020. Tato práce posuzuje opět 5 traktorů této generace, které byly také prodány firmou BV technika u nás v ČR. Designově se oproti druhé generaci malinko změnila kabina. Níže jsou opět uvedeny a popsány jednotlivé konstrukční změny, které se u této generace změnilly.



Obrázek 6 Case puma 240 CVX třetí generace [autor]

2.3.1 Motor

Třetí generace traktorů Case Puma CVX je opět osazena naftovým šestiválcovým motorem a na výběr jsou 4 výkonnostní varianty o jmenovitém výkonu 185, 200, 220 a 240 koní. Tato generace také nabízí menší modely o menším výkonu, ale v této práci nejsou tyto menší modely zahrnuty. Motory splňují emisní normu T4 final – Stage IV díky účinnějšímu systému úpravy výfukových spalin Hi-eSCR. [8]

2.3.2 Brzdy

Brzdový systém je u této generace opatřen protiblokovacím systémem kol ABS. [7]

2.3.3 Kabina

Kabina u této generace prošla malými designovými úpravami, a to tvarem střechy. Kabina může být opatřena mnoha LED světly pro lepší viditelnost při práci za tmy. Obsluha má uvnitř kabiny modernizovaný infotainment pro lepší přehlednost a nastavení všech funkcí traktoru. [8]

3. VÝPOČETNÍ METODY PRO STANOVENÍ SPOLEHLIVOSTI

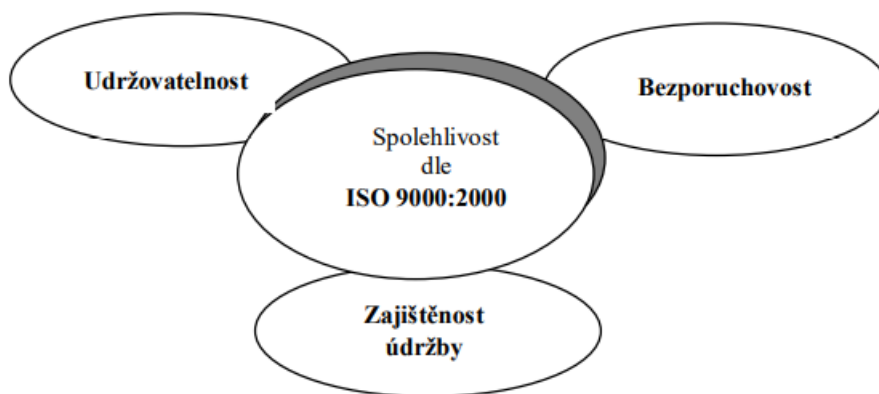
3.1 Základní pojmy

Spolehlivost můžeme posuzovat dle dvou norem, z nichž každá má odlišnou terminologii. Jsou to ČSN EN ISO [9000: 2006] a ČSN IEC 50 (191). [10]

3.1.1 ČSN EN ISO [9000: 2006]

Spolehlivost je v této normě určena jako souhrnný termín, který je používán pro popis pohotovosti a faktorů, které danou úroveň spolehlivosti ovlivňují.

- **Bezporuchovost** – je schopnost objektu vykonávat požadované úkony a funkce v daných podmínkách a v daném časovém intervalu.
- **Udržitelnost** – je definována jako schopnost objektu v daných podmínkách používání vytrvat ve stavu nebo se vrátit do stavu, v němž je možno plnit požadovanou funkci tehdy, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy i prostředky.
- **Zajištění údržby** – je schopnost servisní organizace zajišťující údržbářské služby nabízet dle požadavků za daných podmínek prostředky potřebné pro údržbu v souladu s koncepcí údržby. [10]



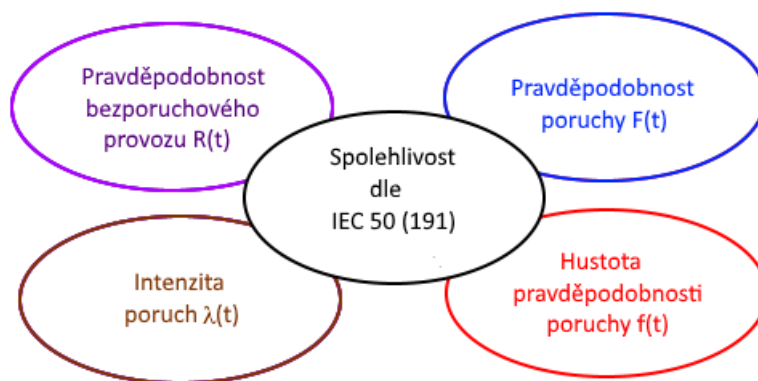
Obrázek 7 Spolehlivost podle ISO 9000:2000 [10]

3.1.2 ČSN IEC 50 (191)

Tato norma vyjadřuje spolehlivost jako pravděpodobnost bezporuchového stavu, což je taková pravděpodobnost, kdy daný objekt může v daných podmínkách a v daném časovém intervalu plnit požadované funkce. [10]

Norma ČSN IEC 50 (191) určuje další pojmy, které se vztahují k údržbě a bezporuchovosti:

- **Porucha** – vyjadřuje úplnou nebo částečnou ztrátu schopnosti plnit požadované funkce celé soustavy nebo prvku. Jestliže dojde k omezení schopnosti provozu, tak se dle stanovených podmínek určuje, zda se jedná o poruchu či nikoliv.
- **Doba do první poruchy** – Jedná se o čas od okamžiku prvního uvedení objektu do provozu až po první zjištěnou poruchu.
- **Doba mezi poruchami** – je doba, která trvá mezi dvěma následujícími poruchami daného objektu.
- **Doba údržby** – je čas, během kterého se na objektu vykonávají údržbové úkony ručně nebo automaticky včetně logistických a technických zpoždění.
- **Údržba** – je soubor určitých technologických činností a postupů, díky kterým se objekt navrátí do funkčního stavu.
- **Preventivní údržba** – je taková údržba, která se provádí průběžně v předem určených intervalech ještě před výskytem poruchy. Cílem je snížit možnost výskytu poruchy objektu.
- **Údržba po poruše** – se provádí, až když nastane poruchový stav a cílem je uvedení objektu do funkčního stavu.
- **Oprava** – je určitá část údržby po poruše, kdy jsou na objektu prováděny ruční operace. [10]



Obrázek 8 Spolehlivost dle IEC 50 (191) [10]

3.2 Teorie spolehlivosti

Vozidla a jejich systémy musí plnit po určitou dobu a za daných podmínek své funkční vlastnosti, a proto je nezbytná jejich spolehlivost. Základními částmi spolehlivosti jsou matematická statistika a pravděpodobnost, pomocí kterých můžeme popisovat a analyzovat náhodné jevy. V této práci jsou náhodnými jevy poruchy a obnovy. Spolehlivost vozidel a jejich systémů je z hlediska obtížnosti a nákladů nutné analyzovat v prvních fázích vývoje a uvedení do provozu. [10]

3.2.1 Vlastnosti náhodné veličiny

Při zjišťování životnosti a spolehlivosti objektů se uplatňují zkoušky spolehlivosti, u kterých se analyzuje a posuzuje například délka technického života. V praxi je však toto zjišťování u vozidel velmi dlouhé, nákladné a vzhledem k ceně vozidel je zkouška končící znehodnocením vozidla nesmyslná. Lepším způsobem stanovení spolehlivosti je analýza na základě údajů o provozu vozidel, která je v této práci použita. Abychom toho docílili, je potřeba vést o jednotlivých vozidlech záznamy o poruchách, jejich příčinách, době provozu a době údržby. [10]

3.2.2 Náhodný jev

Náhodný jev je ve spolehlivosti výsledkem náhodného technického pokusu a dělíme jej do čtyř kategorií:

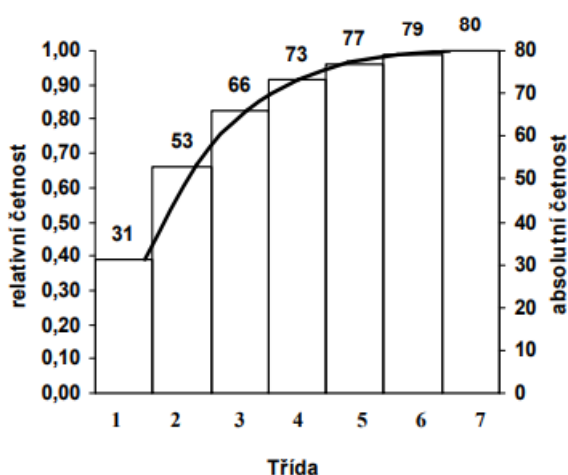
- **Jistý** – je takový jev, který nastane při dodržení podmínek u každého pokusu.
- **Nemožný** – se nazývá takový jev, který při dodržení podmínek nemůže nikdy nastat.
- **Náhodný** – je takový jev, který při opakovaném pokusu a dodržení daných podmínek může ale nemusí nastat. Tento jev má buď konstantní nebo proměnnou pravděpodobnost.
- **Chaotický** – je jev, u kterého se v případě výskytu používají jiné přístupy a nepatří mezi tři již zmíněné kategorie. Chaotické náhodné jevy se v této práci nevyskytují. [10]

3.2.3 Rozptyl náhodné veličiny

Při analýze náhodných jevů získáváme velké množství dat, které je nutné zpracovat, abychom mohli získat potřebné informace o sledovaných veličinách. Jelikož jsou výskyty jevů náhodné, je vhodné realizovat určitá měření. Poté výsledky těchto měření zprůměrovat a určit střední hodnotu μ a rozptyl σ , který je dán intervalem rozbíhajícím se na obě strany od střední hodnoty. Pokud bychom rozptyl nezohledňovali, byla by analýza spolehlivosti velmi jednoduchá. Stačilo by prověřit pouze jedno vozidlo a výsledky z dané zkoušky by byly stejné pro celou výrobní sérii vozidel. [10]

3.2.4 Histogram četnosti

Histogram četnosti slouží k zobrazení průběhu náhodné veličiny. Je možné jej použít k zobrazení absolutních či relativních četností jako jsou například doby do poruchy vozidla. Sloupce v histogramu četnosti jsou vždy vertikální a jejich velikost znázorňuje četnost dané veličiny. Šířka každého sloupce bývá vždy stejná a vodorovná osa grafu je vždy ve stejných jednotkách. U spojitých náhodných veličin můžeme histogram četnosti nahradit hustotou pravděpodobnosti $f(t)$ a také kumulativní histogram četnosti nahradit distribuční funkcí $F(t)$. [10]

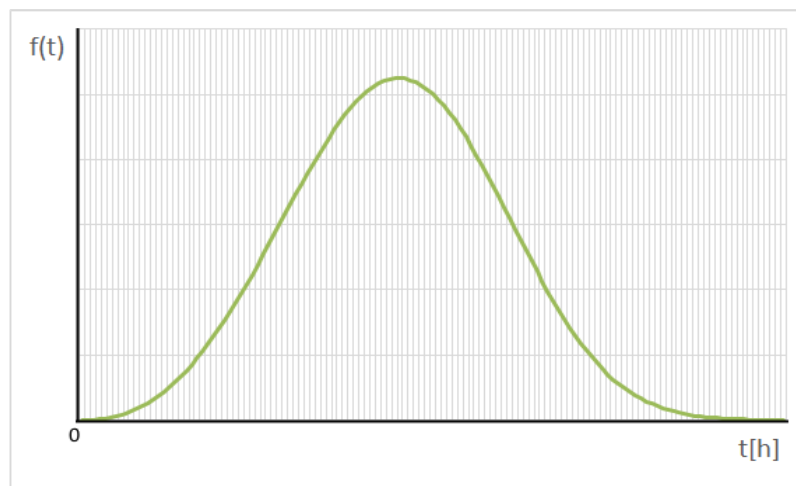


Obrázek 9 Graf Histogramu četností [10]

3.2.5 Hustota pravděpodobnosti

Hustota pravděpodobnosti je funkce, pomocí které můžeme vyjádřit pravděpodobnost, že náhodná veličina T nabude hodnot z nekonečně malého intervalu dt . Je vždy nezáporná a její velikost plochy pod křivkou je vždy rovna jedné. [10]

$$f(t) = \frac{\partial F(t)}{\partial t} \quad (3.1)$$



Obrázek 10 Graf Hustoty pravděpodobnosti [autor]

3.2.6 Distribuční funkce

Distribuční funkce nám udává pravděpodobnost, s jakou náhodná veličina T dosáhne hodnoty nižší nebo stejné dané hodnotě t . Je vždy nezáporná, neklesající a nabývá hodnot z intervalu $<0,1>$. Pokud existuje derivace $F(t)$ podle t , pak platí mezi distribuční funkcí a hustotou pravděpodobnosti tento vztah:

$$F(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)dt \quad (3.2)$$

Ve mé práci je zjišťována doba mezi poruchami, a jedná se tedy o pravděpodobnost poruchy v čase t značenou $F(t)$. Ve spolehlivosti je také důležitou náhodnou veličinou doba od uvedení do provozu do poruchy objektu. [10]

3.2.7 Intenzita náhodné veličiny

Intenzita náhodné veličiny (v našem případě poruch) je podmíněná pravděpodobnost, kdy daný jev nastane za nekonečně krátkou dobu dt pod podmínkou, že do okamžiku t jev ještě nenastal. Značíme jí písmenem λ a získáme podílem hustoty pravděpodobnosti a distribuční funkce:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.3)$$

Intenzita poruch se udává nejčastěji v jednotkách času jako například 1/hod nebo také výkonovým parametrem, kde se určuje pomocí kilometrického proběhu vozidla. Lze jí vyjádřit také podílem celkového počtu poruch N_p a času t , což je použito v této práci. [10]

3.3 Vybrané zákony rozdělení pravděpodobnosti

Data získaná ze spolehlivostních zkoušek je vhodné pro lepší práci porovnat s některým ze zákonů rozdělení náhodné veličiny, abychom získali racionální popis spolehlivostních vlastností zkoušeného výrobku. Pro tento účel se rozdělení volí podle podobnosti získaných dat například podle tvaru histogramu četností. [10]

3.3.1 Weibullovo rozdělení

Weibullovo rozdělení je díky své variabilitě velmi často používanou metodou k modelování průběhu náhodné veličiny při posuzování bezporuchovosti technických objektů. Weibullovo rozdělení dokáže pomocí změny parametru tvaru nahradit i aproximovat jiné zákony rozdělení jako jsou například exponenciální nebo normální. Velkou výhodou tohoto rozdělení je, že počítáme pouze s jedním tvarem rovnic a není potřeba používat rovnice pro další typy rozdělení. Při práci v prostředí tabulkového procesoru nám tato výhoda velmi pomůže. [10]

Distribuční funkce tohoto rozdělení má v základním tvaru 3 parametry a značí se zkratkou W3p. Rovnice v tomto základním tvaru vypadá takto:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-c}{t_0}\right)^m} \quad (3.4)$$

m – parametr tvaru, $m > 0$

c – parametr polohy, $c \geq 0$

t_0 – parametr měřítka, $t_0 > 0$

t – hodnota náhodné veličiny T



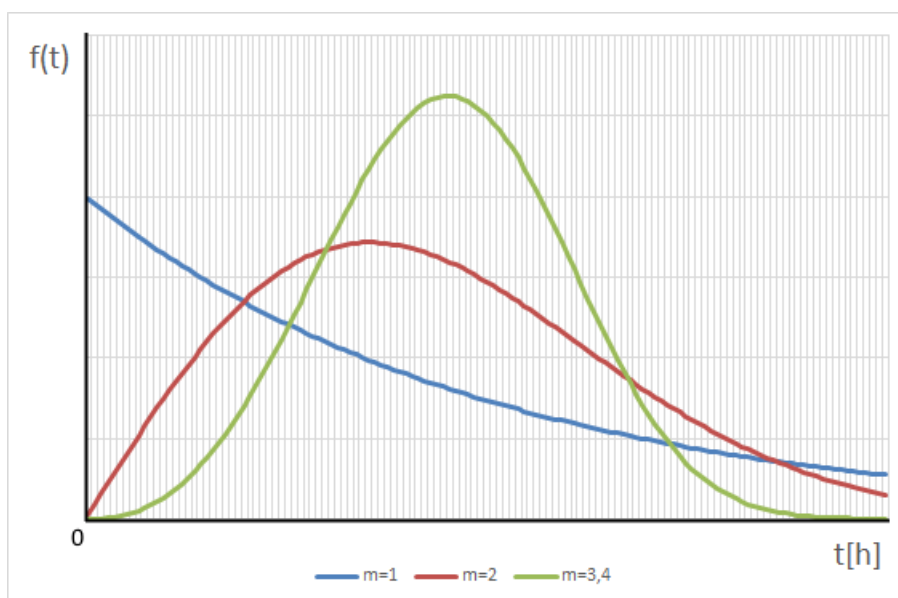
Obrázek 11 Graf Vlivu změny parametru tvaru m na intenzitu poruch [autor]

Weibullovo tříparametrické rozdělení je poměrně složité a pro běžné výpočty se často převádí na dvouparametrické kvůli zjednodušení. Po převedení z W3p na W2p odpadá parametr polohy c . Pro výpočty v této práci stačí W2p a jeho předpis distribuční funkce vypadá takto:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (3.5)$$

Hustota pravděpodobnosti pro W2p vypadá takto:

$$f(t) = \frac{m}{t_0} \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (3.6)$$



Obrázek 12 Hustota pravděpodobnosti W2p v závislosti na parametru m [autor]

Pro pravděpodobnost bezporuchového stavu a intenzitu poruch u W2p platí vztahy:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (3.7)$$

$$\lambda(t) = \frac{m}{t_0} \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^{m-1} \quad (3.8)$$

Pomocí změny parametru m u W2p můžeme nahradit i jiná rozdělení. Pro $m = 1$ platí exponenciální rozdělení, $m = 2$ Reyleighovo rozdělení a pro $m = 3,5$ normální rozdělení. [10]

3.3.2 Exponenciální rozdělení

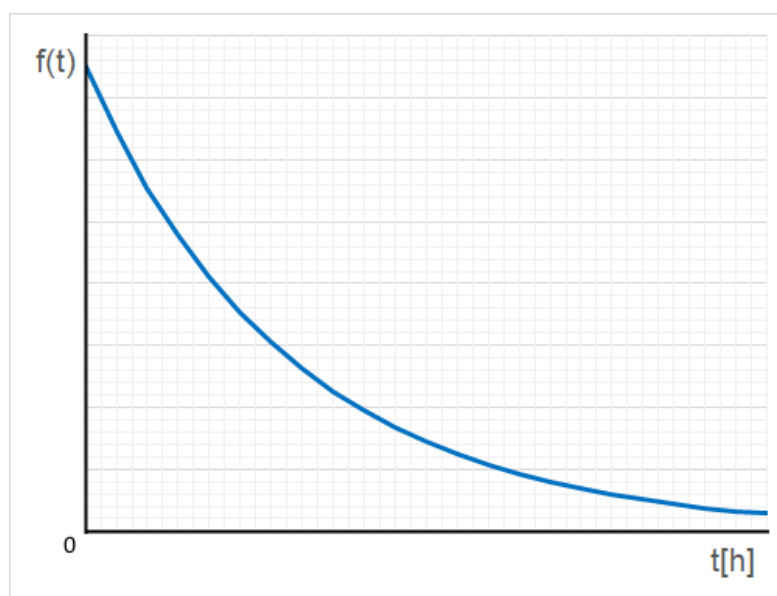
Exponenciální rozdělení se používá u výrobků, kde intenzita poruch má přibližně konstantní hodnotu. Jedná se tedy o objekty, u kterých dochází k poruchám náhodně bez návaznosti na opotřebení. [10]

Exponenciální rozdělení se značí $Ex(\lambda)$ a je dáno pouze jedním parametrem λ , tedy intenzitou poruch. Tvar hustoty pravděpodobnosti má klesající průběh a je dána vztahem:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (3.9)$$

t – hodnota náhodné veličiny T [h]

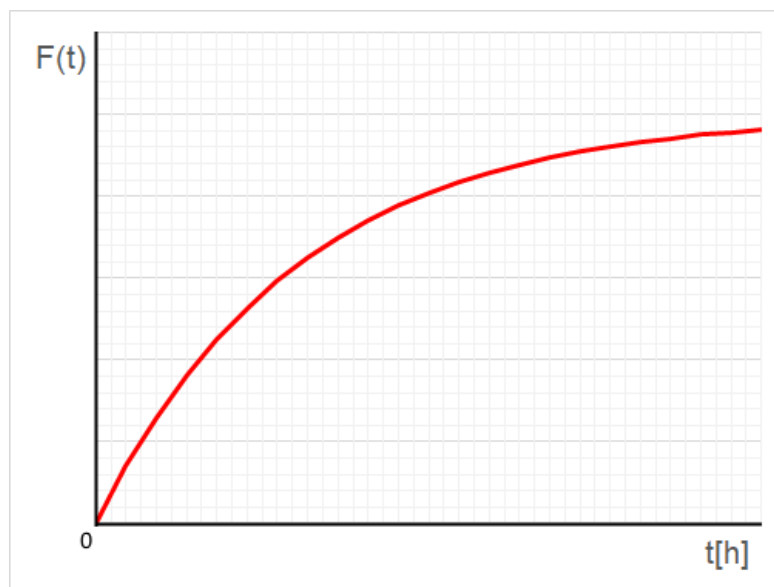
λ – intenzita poruch [1/h]



Obrázek 13 Průběh hustoty pravděpodobnosti exponenciálního rozdělení [autor]

Distribuční funkce $F(t)$ pro exponenciální rozdělení je dána vztahem:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \quad (3.10)$$



Obrázek 14 Graf Průběhu distribuční funkce exponenciálního rozdělení [autor]

Pravděpodobnost bezporuchového stavu se značí $R(t)$ a pro exponenciální rozdělení má tvar rychle klesající exponenciály. Střední hodnota T_s , neboli střední doba do poruchy je dána převrácenou hodnotou parametru λ . [10]

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad (3.11)$$

$$T_s = \frac{1}{\lambda} \quad (3.12)$$

3.4 Zkoušky spolehlivosti

Zkoušky spolehlivosti mají základ ve stochastickém vztahu k plánování a vyhodnocování zkoušek spolehlivosti. Tyto zkoušky pracují pouze s náhodnou veličinou, protože ke změnám hodnot dochází s určitou pravděpodobností. Proto zde hraje pravděpodobnost důležitou roli a nelze jí zanedbat.

Cílem těchto zkoušek je experimentální posouzení či ověření ukazatelů spolehlivosti, kterými jsou typ a parametry rozdělení náhodné veličiny popisující zkoumaný jev. Těmito jevy jsou například doba do poruchy, doba údržby, pohotovost atd. [11]

Rozdělení zkoušek spolehlivosti podle jejich cíle:

- **Určující** – před začátkem tohoto typu zkoušek nemáme k dispozici žádné informace o parametrech rozdělení nebo rozdělení náhodné veličiny. Cílem je pomocí experimentálních dat tyto veličiny stanovit. Tuto zkoušku spolehlivosti lze využít při zkoumání neznámého výrobku, který má novou doposud neznámou technologii
- **Ověřovací** – cílem této zkoušky je pomocí experimentálních dat ověřit, jestli hodnota prozkoumaných ukazatelů souhlasí s předem danými požadavky. Známe zde typ rozdělení a testujeme dosažené parametry rozdělení pomocí zkušeností z předchozích zkoušek obdobných výrobků.
- **Zkrácené** – u tohoto typu zkoušky se ověřují dané ukazatele pod podmínkou, kdy je ukončena dříve, než se objeví porucha u všech subsystémů. Využívá se u výrobku s více shodnými konstrukčními skupinami jako například čtyři stejné válce v motoru. Zkouška by skončila po poruše prvního pístu.
- **Zrychlené** – u zrychlených zkoušek jsou výrobky podrobeny zvýšenému zatížení, aby se degradace jednotlivých součástí urychlila. Tento typ zkoušky se používá u elektronických a elektrotechnických součástek. [11]

3.4.1 Zkoušky spolehlivosti s použitím zkušebních plánů

Tyto zkoušky mají velké využití, protože netestujeme celý soubor výrobků ale jen určitou část (vzorek). Testovat celý soubor by bylo příliš dlouhé, nákladné a nebylo by co dodat odběrateli. Na základě výsledků zkoušek vybraného vzorku výrobků se následně usoudí vlastnosti celé populace. [11]

Zkušební plán – je celek daných pravidel, podle kterých se definuje průběh a způsob ukončení zkoušky na vybraném vzorku objektů.

Dělení zkušebních plánů

- **Úplný** – u toho typu zkušebního plánu dojde k poruše u všech testovaných objektů a nedochází k jejich vyměnění nebo obnovování. Zkouška je ukončena poruchou posledního testovaného výrobku.
- **Cenzurovaný počtem poruch r-plán** – zde jsou výrobky limitovány předem určeným počtem poruch r_0 a po dosažení tohoto počtu zkouška končí. Doba do poruchy je zde náhodnou veličinou a výrobky se po poruše nahradí, nenahradí nebo opraví.
- **Cenzurovaný dobou do poruchy t-plán** – zde je náhodnou veličinou počet poruch a zkouška je omezena dobou trvání zkoušky t_0 . Objekty se po poruše nahradí, nenahradí nebo opraví.
- **Progresivně cenzurovaný** – je smíšený zkušební plán, kde jedna část výrobků je zkoušena podle počtu vyskytnutých poruch a druhá část je omezena trváním zkoušky. [11]

Popis zkušebních plánů

Popis zkušebních plánů se dělá pomocí trojic symbolů $[n, X, Y]$.

Tabulka 1 Popisování zkušebních plánů [11]

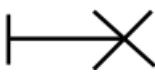
n		Počet zkoušených objektů
X využití objektů	U	výrobek není po poruše opravován nebo vyměněn ale hned vyřazen
	R	výrobek se po poruše vymění za nový
	M	výrobek se po poruše opraví a poté ve zkoušce pokračuje
Y typ plánu	r	r-plán, u kterého po dosažení omezeného počtu poruch zkouška končí
	t	t-plán, u kterého po uplynutí omezené doby trvání zkouška končí

V mé diplomové práci jsou použity zkušební plány $[n, M, t]$.


Časové veličiny zkušebních plánů

Při popisu chování zkoušených výrobků jsou určujícími parametry časové veličiny. V případě progresivních cenzurovaných plánů se určí maximální doba zkoušky a mohou nastat dva případy [11]:

- kdy před uplynutím doby zkoušky nastane u libovolného výrobku v čase t_i

porucha značíme tento stav symbolem .

- nebo před uplynutím doby zkoušky nenastane u libovolného výrobku

porucha pak tento stav označíme symbolem .

Velmi důležitou veličinou zkušebních plánů je akumulovaný pracovní čas T_{aku} , který reprezentuje průběh zkoušky. Tato veličina značí celkovou dobu, po kterou byly vybrané výrobky v době zkoušky v provozu a její výpočet se řídí na základě správně zvoleném typu zkušebního plánu. [11]

Pro mnou zvolený zkušební plán $[n, M, t]$ vypadá rovnice akumulovaného pracovního času takto:

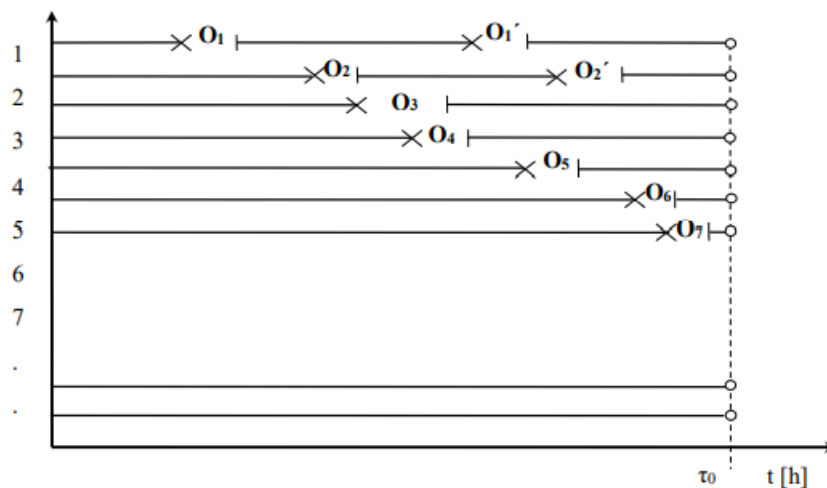
$$T_{aku} = \sum_{i=1}^r (t_0 - O_i) + (n - r) \cdot t_0 \quad (3.13)$$

n – počet zkoušených objektů [-]

r – počet poruch zjištěných v souboru zkoumaných výrobků n [-]

O_i – potřebný čas na opravení i -tého výrobku [h]

T_0 – doba zkoušky [h]



Obrázek 15 Grafické znázornění t-plánu [11]

Vyhodnocení zkušebních plánů

Cílem zkušebních plánů je určení parametrů rozdělení základního souboru pomocí odhadu získaného při zkoušce. K tomuto se využívá statistika, která znázorňuje vztah mezi základním souborem výrobků a parametry odhadu zjištěných z výsledků zkoušky. Tato statistika vychází z chí-kvadrát rozdělení a pokud známe typ rozdělení základního souboru tak můžeme stanovit interval, ve kterém máme hledaný parametr základního souboru výrobků na určené konfidenční úrovni. Pro Weibullovo rozdělení má rovnice tento tvar [11]:

$$P\left(\chi_{2v,1-\frac{\alpha}{2}}^2 \geq 2v\left(\frac{\hat{\theta}}{\theta_0}\right)^m \geq \chi_{2v,\frac{\alpha}{2}}^2\right) = (1 - \alpha) \quad (3.14)$$

$\chi_{2v,1-\frac{\alpha}{2}}^2$ - hodnota statistiky chí-kvadrát pro $2v$ stupňů volnosti na konfidenční úrovni $1 - \alpha/2$

v – je počet stupňů volnosti, který se u cenzurovaných souborů vypočítá jako $v = 2 \cdot (r + 1)$ a pro úplné soubory $v = r$, kde r je množství poruch vzniklých při zkoušce.

θ_0 – je hledaný parametr rozdělení, kterým je pro nás střední hodnota doby do poruchy T_s

$\hat{\theta}$ – odhad parametru rozdělení vypočtený ze zkoušeného vzorku výrobků

m – parametr tvaru Weibullova rozdělení

Pro stanovení dolního intervalového odhadu střední hodnoty pro Weibullovo rozdělení platí tento vztah:

$$(\hat{T}_{SD})^m \geq \frac{2 \cdot T_{AKU}^m}{\chi_{2v,1-\alpha}^2} \quad (3.15)$$

A pro horní odhad platí:

$$(\hat{T}_{SH})^m \leq \frac{2 \cdot T_{AKU}^m}{\chi_{2v,\alpha}^2} \quad (3.16)$$

Pokud chceme stanovit potřebné parametry a poté je vyhodnotit, tak nejčastěji využíváme dolní odhad střední hodnoty. Dolní odhad je možno použít například při počítání střední hodnoty doby do poruchy a horní odhad lze použít pro zjištění času v údržbě. [11]

4. Zpracování získaných experimentálních dat

Tato část diplomové práce je zaměřena na jednotlivé praktické výpočty a vyhodnocení spolehlivosti traktorů Case. U těchto traktorů je posuzována střední doba do poruchy, střední doba v údržbě a náklady na údržbu pomoci horního a dolního odhadu.

Pro mou diplomovou práci mi byly poskytnuty servisní data ze společnosti BV technika, která má hlavní sídlo v Polance nad Odrou. Tato firma se specializuje na prodej a servis výhradně zemědělské techniky ale také lesní a komunální techniky. BV technika má navíc pobočky ve Velkém Týnci a Lanškrouně.

V následující tabulce můžeme vidět soupis 15 traktorů ze tří generací, které jsou v této práci testovány:

Tabulka 2 Seznam analyzovaných traktorů [autor]

generace	pořadové č.	model	rok výroby	datum předání
1	1	Puma 225 CVX	2009	22.09.2010
	2	Puma 180 CVX	2009	11.05.2011
	3	Puma 225 CVX	2011	10.05.2011
	4	Puma 225 CVX	2011	19.10.2011
	5	Puma 225 CVX	2011	12.01.2012
2	6	Puma 230 CVX	2011	18.03.2013
	7	Puma 230 CVX	2011	18.04.2013
	8	Puma 185 CVX	2013	27.02.2014
	9	Puma 230 CVX	2013	19.03.2014
	10	Puma 185 CVX	2013	15.12.2016
3	11	Puma 240 CVX	2016	02.11.2016
	12	Puma 240 CVX	2018	16.07.2018
	13	Puma 240 CVX	2018	11.03.2019
	14	Puma 240 CVX	2018	09.01.2019
	15	Puma 240 CVX	2018	16.01.2019

4.1 Popis a zpracování získaných dat

Data ke všem traktorům mi byly poskytnuty v souborech programu MS Excel. U všech poruch byly informace o datu začátku a ukončení opravy, VIN kód, výpis všech použitých dílů včetně jejich cen a cena za práci servisních techniků. Poruchy byly také roztříděny podle toho, jestli se jedná o běžnou či garanční opravu nebo jen technickou údržbu a na jakém servisním středisku byla daná oprava prováděna.

Poruchy byly roztříděny pouze podle toho, v jakém roce byly vykonány. Proto bylo potřeba data rozdělit podle jednotlivých traktorů pomocí VIN kódu. K tomu, abych jednotlivé traktory mohl porovnat jsem potřeboval informace o jejich stavu najetých hodin v době, kdy byly opravy vykonávány. Tyto informace byly bohužel uvedeny jen u technických údržeb a pár běžných poruch. Abych získal stav mth u ostatních oprav bylo potřeba najít v archivním skladu BV techniky všechny faktury a z nich pak tyto informace získat. Jelikož prodává BV technika více než 20 značek strojů, bylo toto hledání poměrně časově náročné.

Následně jsem data přepsal a zpracoval, aby v nich byl lepší přehled. Dále jsem je roztřídil podle 7 konstrukčních skupin pro následující výpočty. Těmito konstrukčními skupinami jsou:

1. Motor
2. Převodovka a PTO
3. Hydraulika
4. Elektronika
5. Brzdy
6. Kabina
7. Podvozek

V následující tabulce Tab. 3 vidíme soupis poruch pro traktor Case č.1:

Tabulka 3 Seznam poruch pro traktor Case č.1 [autor]

CASE PUMA Č.1					
popis opravy	datum	mth	hodin v opravě	konstrukční skupina	cena opravy [Kč]
výměna čidla palivového filtru	20.03.2012	1200	1	4	2879
výměna čidla hydraulického čerpadla	01.06.2012	1357	1,5	4	3390
výměna tlakového spínače	29.03.2013	1943	1	7	3722
oprava ruční brzdy	30.04.2013	2098	1	5	1452
kalibrace převodovky	06.02.2014	3000	2	2	860
oprava brzdového válce	07.03.2014	3122	1,5	5	33562
výměna těsnění hydrauliky	25.07.2014	3473	0,5	3	2901
seřízení ventilů	14.08.2014	3600	3,5	1	2870
kalibrace ruční brzdy	27.10.2014	3723	1	5	858
oprava brzdy	03.11.2014	3742	6,5	5	51005
výměna hyrd. filtru a baňky	15.12.2014	3892	1	3	4998
kalibrace převodovky	13.04.2015	4320	1	2	1968
výměna pedálu spojky	22.05.2015	4478	3	6	2513
výměna lanka zadního PTO	18.06.2015	4605	2	2	5027
čidlo palivového filtru	04.08.2015	4800	1,5	4	3193
zkrat kabeláže přední nápravy	06.10.2015	5032	3,5	4	2835
výměna prasklé olejové hadice od převodovky	27.10.2015	5201	3,5	2	8664
oprava kardanů a čepů přední nápravy	15.01.2016	5400	12	7	24270
kalibrace parkovací brzdy	17.05.2016	6096	0,5	5	925
filtr paliva, čidlo, pojistný ventil	11.10.2017	7143	3	1	17680
oprava elektroinstalace obvodu kabiny	27.11.2017	7250	1,5	4	1746
oprava brzd	08.01.2018	7272	6,5	5	34050
oprava odpružení přední nápravy	08.01.2018	7272	22	7	37388
výměna chladiče	19.01.2018	7289	3	1	39890
oprava elektroinstalace	03.05.2018	7483	2	4	9646
oprava převodovky	03.05.2018	7483	6	2	8072
oprava klimatizace	03.05.2018	7483	6,5	6	17595
oprava převodovky	16.07.2018	7620	21	2	39700
oprava převodovky	30.07.2018	7653	33	2	85300
oprava přední nápravy	17.08.2018	7721	8	7	25270
oprava klikové hřídele	17.08.2018	7721	7,5	1	32740
výměna páky pojezdu	09.10.2018	7911	2	6	6130
oprava odpružení přední nápravy	27.11.2018	7978	10,5	7	32737
oprava elektroinstalace	27.11.2018	7978	11	4	14761
čidlo palivového filtru	20.11.2019	8400	1	4	3690
výměna tlačítek PTO	09.04.2020	8621	4,5	6	7800

5. Výpočet a porovnání úrovně spolehlivosti traktorů

5.1 Střední doba do poruchy jednotlivých traktorů

Tato kapitola je zaměřena na zhodnocení a porovnání střední doby do poruchy jednotlivých traktorů. V tabulkách jsou uvedeny výsledky těchto výpočtů a následně jsou tyto hodnoty zobrazeny i graficky.

Ukázka výpočtů pro traktor č.1:

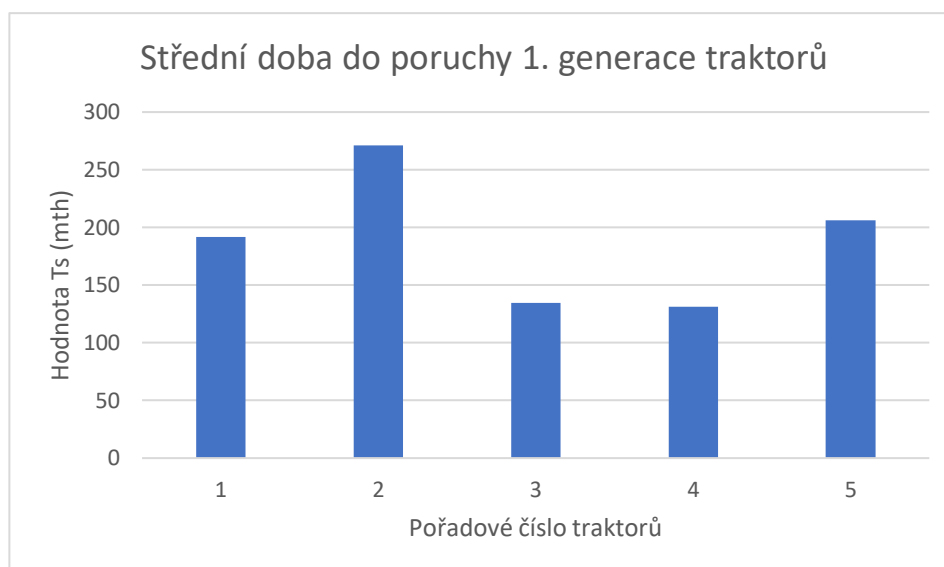
$$v = 2 \cdot (r + 1) = 2 \cdot (36 + 1) = 74 [-]$$

$$T_S = \frac{2 \cdot T_{AKU}}{\chi_{v,C}^2} = \frac{2 \cdot 8621}{\chi_{74;0,9}^2} = 192 \text{ dní}$$

Z grafu a výsledných hodnot pro traktory první generace je patrné, že střední doba do poruchy se pohybuje okolo 130 až 270 dní. Dle výsledků má traktor č.4 střední dobu do poruchy o 140 dní kratší než č.2. To může být dáno tím, že traktor č.2 má najeto skoro 2krát více mth. Naopak traktor č.1 má T_S o 57 dní delší než č.3 i když mají skoro stejný počet najetých mth, což může být dáno tím, že první traktor je používán v náročnějších podmínkách. Průměrná hodnota střední doby do poruchy činí pro tuto generaci 187 dní.

Tabulka 4 Hodnoty střední doby do poruchy 1. generace traktorů [autor]

1. generace				
pořadové č.	mth	počet poruch r	v	Ts
1	8621	36	74	192
2	12491	37	76	271
3	8420	52	106	135
4	6623	41	84	131
5	5572	20	42	206

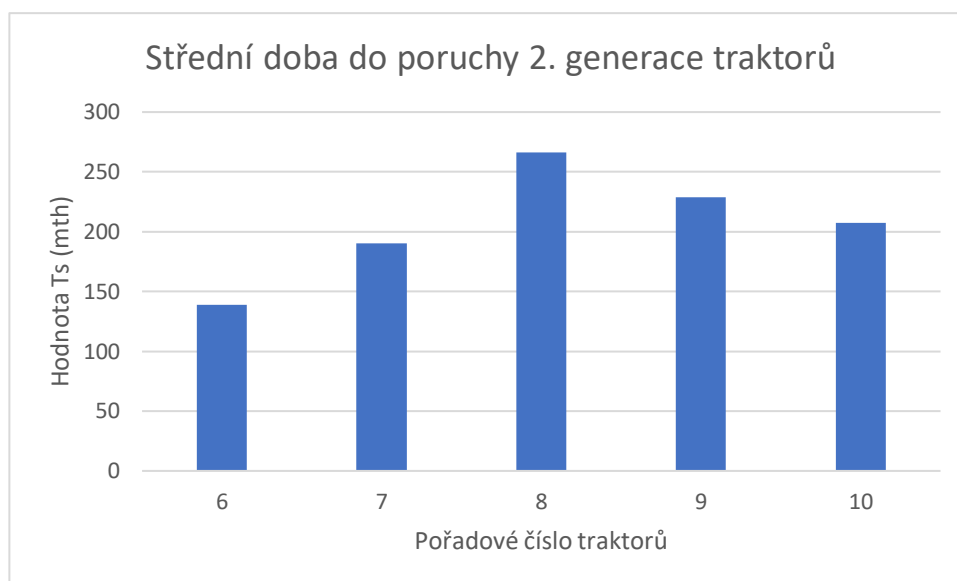


Obrázek 16 Graf střední doby do poruchy 1. generace traktorů [autor]

U druhé generace traktorů máme opět velké rozdíly počtu najetých motohodin. Střední doba do poruchy je u č.8 skoro 2krát větší než u č.6 ale zároveň je jejich rozdíl v počtu mth velký. Z těchto výsledků můžeme usoudit, že traktory Case Puma CVX druhé generace mají při nájezdu prvních pěti až šesti tisíc mth střední dobu do poruchy okolo 250 dní ale postupem času klesne Ts pod 200 dní. U této generace je průměrná hodnota střední doby do poruchy 206 dní.

Tabulka 5 Hodnoty střední doby do poruchy 2. generace traktorů [autor]

2. generace				
pořadové č.	mth	počet poruch r	v	Ts
6	10923	67	136	139
7	9183	39	80	190
8	6290	17	36	266
9	5400	17	36	229
10	9561	37	76	207

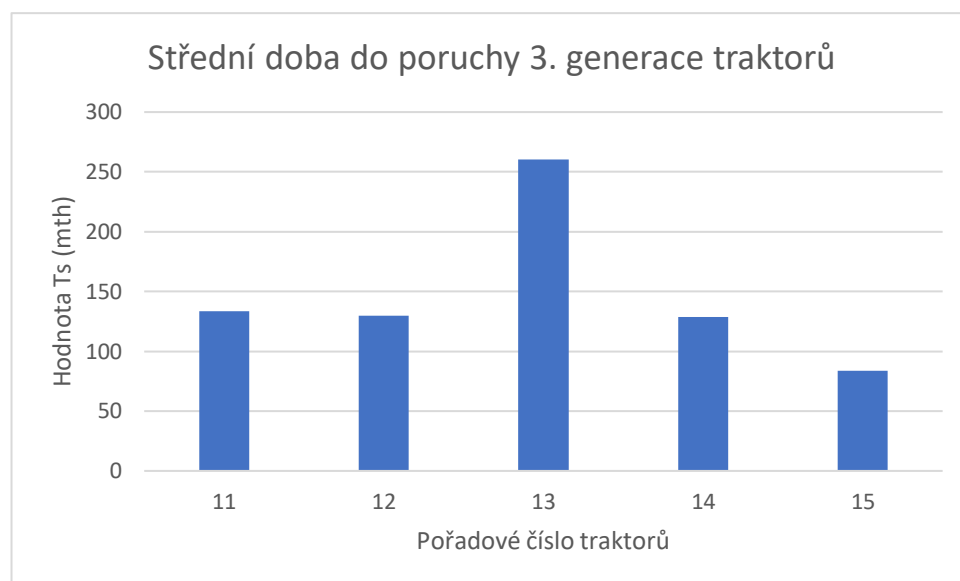


Obrázek 17 Graf střední doby do poruchy 2. generace traktorů [autor]

Traktory třetí generace nemají najeto tolik motohodin jako předchozí dvě generace, a proto je potřeba brát tyto výsledky s určitou rezervou. Z výsledků zkoušek vyplývá, že nejvíce poruchovým traktorem této generace je traktor č.15. Má totiž najeto necelých 800 mth a už se u něj projevilo 5 poruch. Zajímavé je také porovnání traktorů 11 a 13, které mají najeto skoro stejný počet mth, ale jejich střední doba do poruchy se liší skoro dvojnásobně. Průměrná hodnota Ts této generace je 148 dní.

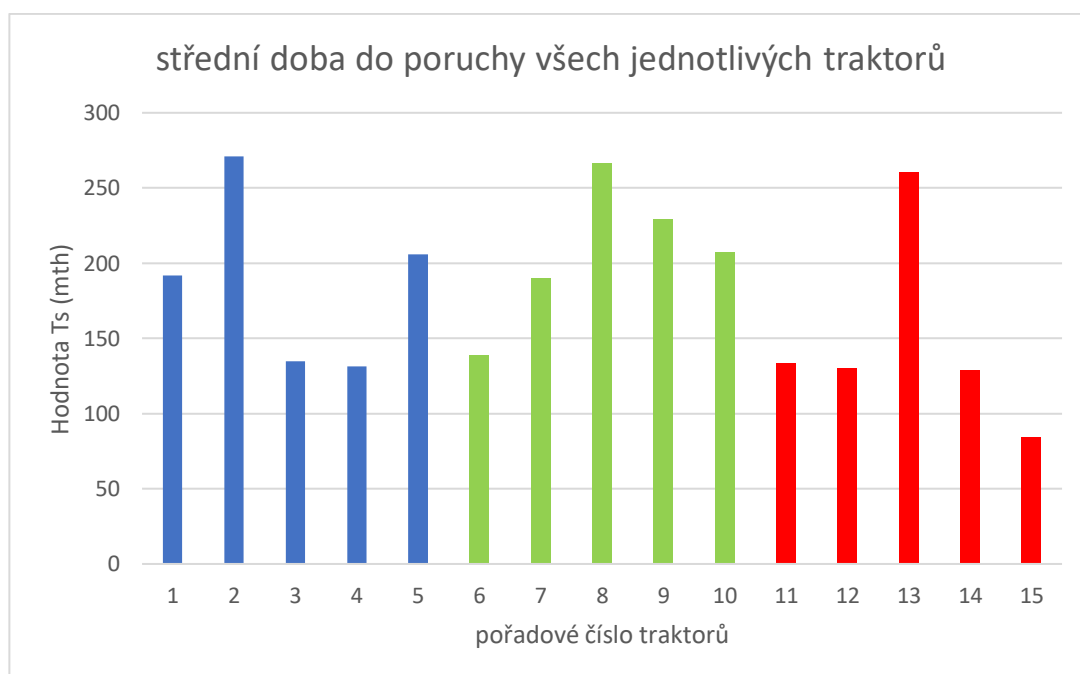
Tabulka 6 Hodnoty střední doby do poruchy 3. generace traktorů [autor]

3. generace				
pořadové č.	mth	počet poruch r	v	Ts
11	3611	20	42	134
12	1204	5	12	130
13	3381	8	18	260
14	1672	8	18	129
15	778	5	12	84



Obrázek 18 Graf střední doby do poruchy 3. generace traktorů [autor]

Při srovnání střední doby do poruchy všech traktorů vidíme, že první a druhá generace je na tom dost obdobně. Je potřeba brát s rezervou výsledky třetí generace. Součet motohodin všech traktorů u první a druhé generace je skoro stejný. Avšak Ts je u druhé generace o 19 dní delší. Lze tedy tvrdit, že druhá generace je spolehlivější než první.



Obrázek 19 Graf střední doby do poruchy všech jednotlivých traktorů [autor]

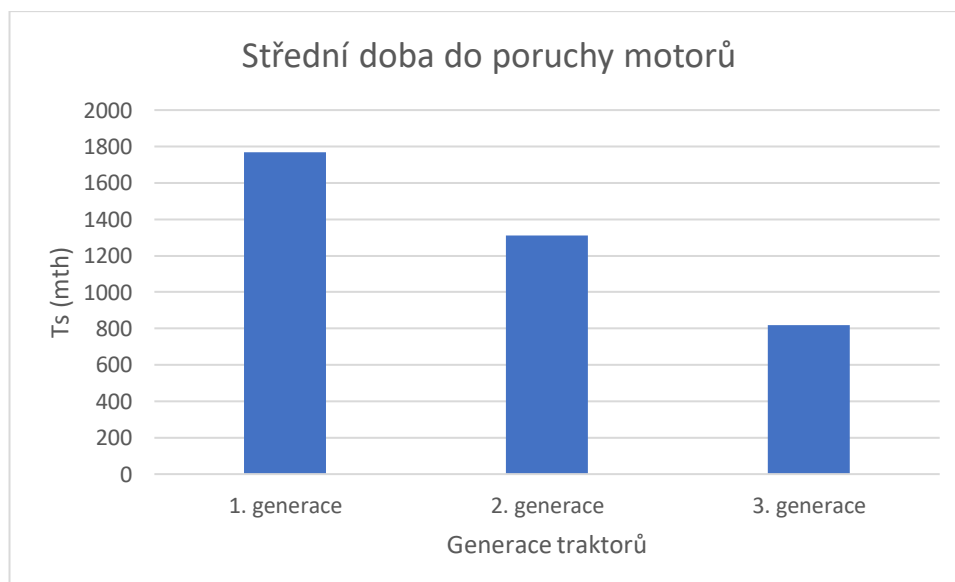
5.2 Střední doba do poruchy jednotlivých konstrukčních skupin

Tato kapitola je zaměřena na porovnání střední doby do poruchy mezi konstrukčními skupinami vybraných traktorů. Konstrukčních skupin je celkem 7.

Tabulka 7 Střední doba do poruchy T_s u jednotlivých konstrukčních skupin [autor]

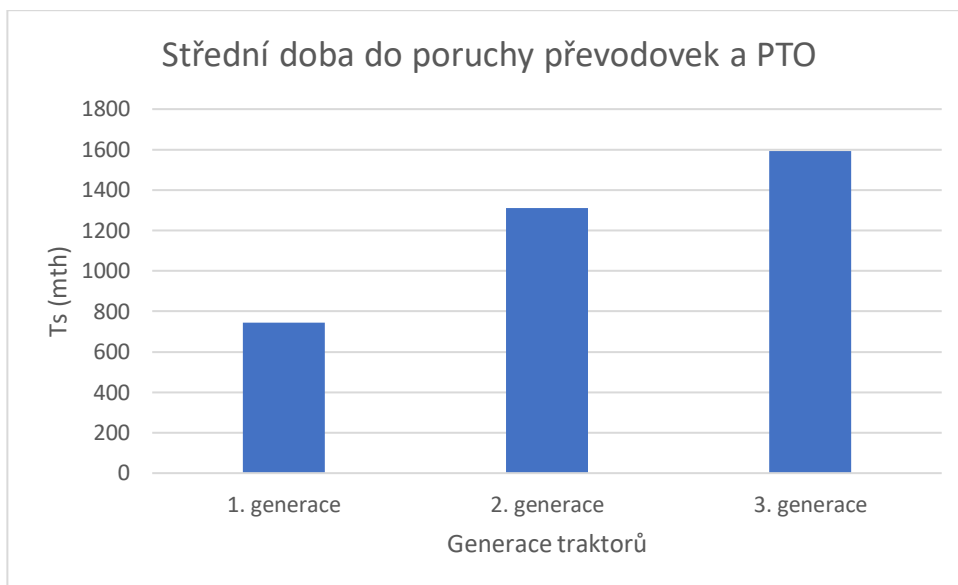
Skupina	1. generace	2. generace	3. generace
motor	1768	1309	819
převodovka a PTO	746	1309	1594
hydraulika	1122	993	599
elektronika	1157	1049	819
brzdy	1122	1411	2737
kabina	2201	2055	1011
podvozek	1321	1112	904

Z grafu střední doby do poruchy traktorů je patrné, že první generace má motory nejvíc spolehlivé a třetí generace nejméně. Razantní pokles střední doby do poruchy mezi první a druhou generací je ten, že u druhé bylo nutné doplnit motory o systém SCR. Tedy systém, který snižuje množství škodlivých látek ve výfukových spalínách. Tím pádem bylo do spalovací soustavy přidán další systém, který se může kazit, a navíc tento systém nebyl nikdy dříve u motorů používán.



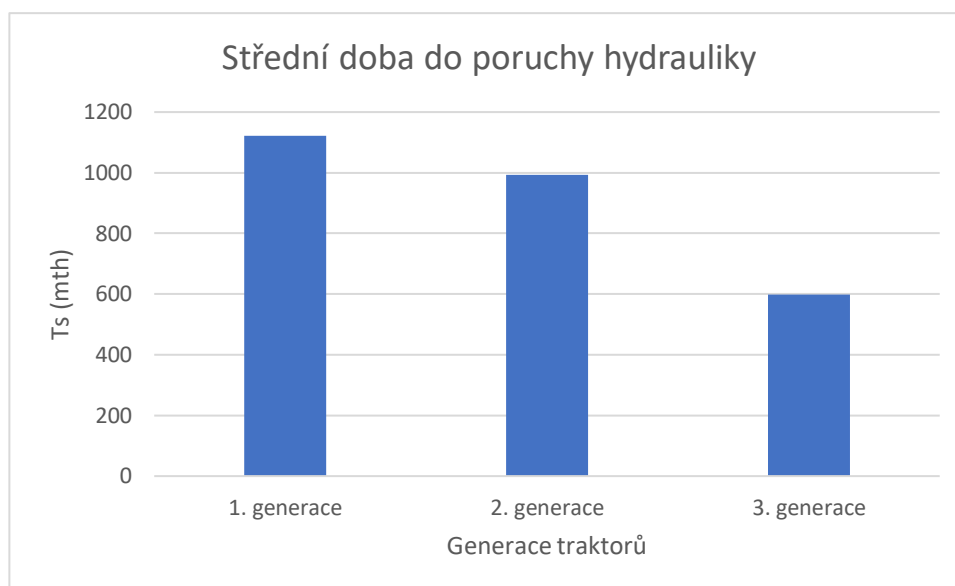
Obrázek 20 Graf střední doby do poruchy motorů [autor]

Z grafu pro střední hodnotu doby do poruchy převodovek a PTO je patrné, že jejich spolehlivost se každou generací zlepšuje. Převodovky u první generace jsou poměrně hodně poruchové a zároveň se musí často kalibrovat.



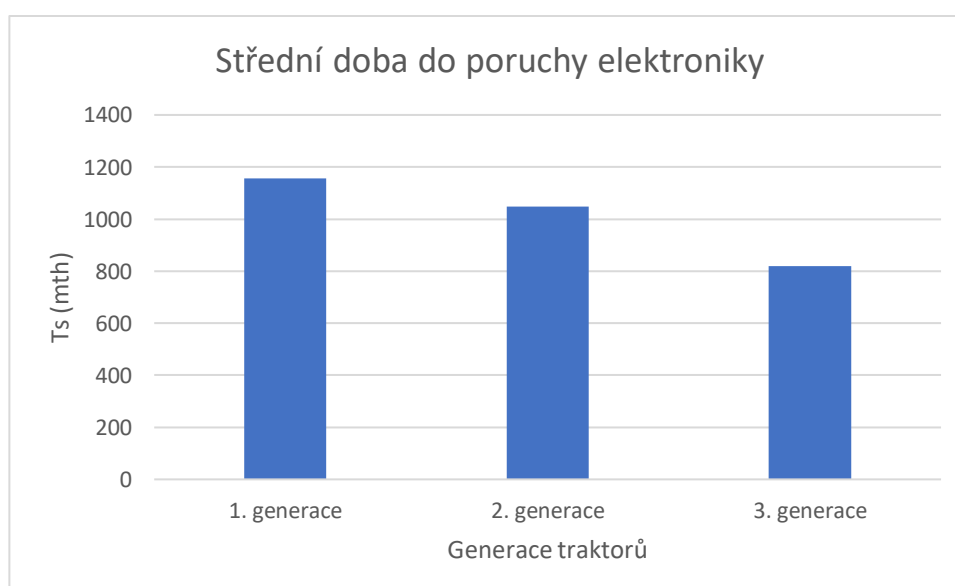
Obrázek 21 Graf střední doby do poruchy převodovek a PTO [autor]

Z Grafického znázornění střední doby do poruchy hydrauliky vyplývá, že tato konstrukční skupina je nejspolehlivější u první generace traktorů. Je potřeba si uvědomit, že všechny traktory nemusí mít stejný počet hydraulických okruhů pro přípojný stroje. Některé stroje využívají například pouze 2 hydraulické okruhy a jiné 4 nebo 5. Traktory mohou mít vyvedeny hydraulické okruhy nejen vzadu ale i vpředu. Dále je potřeba si všimnout, že traktor č.11 u třetí generace má celkem 7 poruch hydraulického systému, což je hodně u traktoru s 3611 mth. Pokud by měl traktor č.11 pouze 3 poruchy hydrauliky stejně jako traktor č.13, který má najeto skoro stejný počet mth, zvýšila by se hodnota Ts u třetí generace na 819 dní.



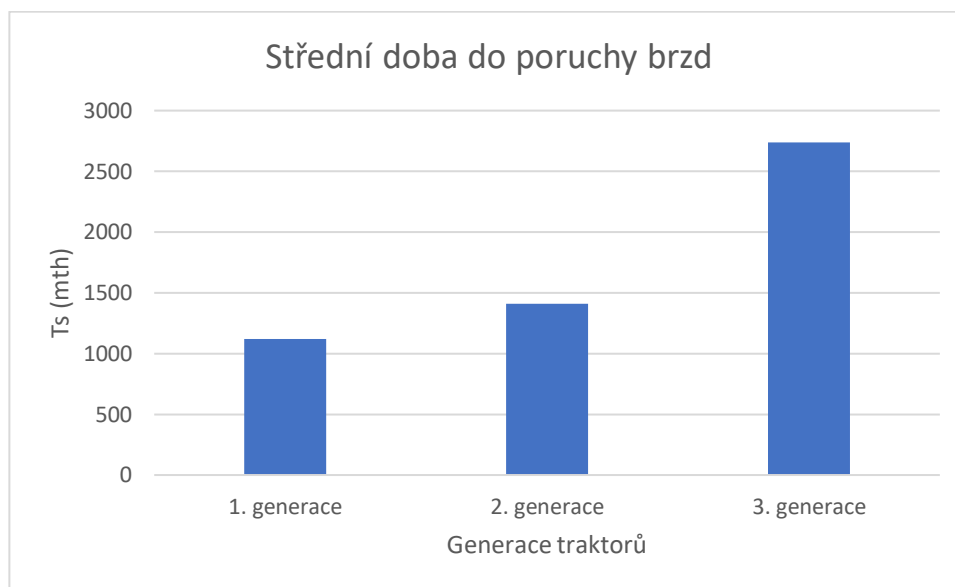
Obrázek 22 Graf střední doby do poruchy hydrauliky [autor]

Střední doba do poruchy elektroniky se u jednotlivých generací postupně zhoršuje. Je to dáno tím, že u traktorů jednotlivých generací stále přibývají různé systémy a vymoženosti. Například přidáním systému SCR u druhé generace se zvýšil počet elektronických součástek použitých v traktorech. Různé nastavení jízdního režimu a ovládání strojů na polích se postupem generací zlepšuje, ale na úkor zvýšeného počtu elektronických součástek a systémů.



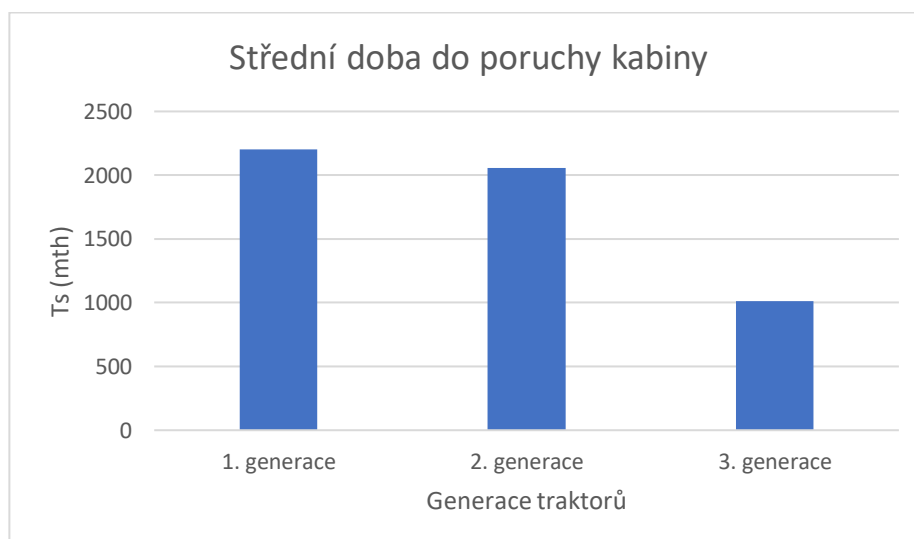
Obrázek 23 Graf střední doby do poruchy elektroniky [autor]

Na následujícím grafu je patrné, že nejspolehlivější brzdy má třetí generace traktorů Case. Je to z důvodu, že traktory této generace mají naježděno málo mth a ještě se u nich neprovedly opravy jako výměna brzdových kotoučů, lamel, atd. u první a druhé generace se často porouchávala elektronická ruční brzda, která navíc často potřebovala kalibraci.



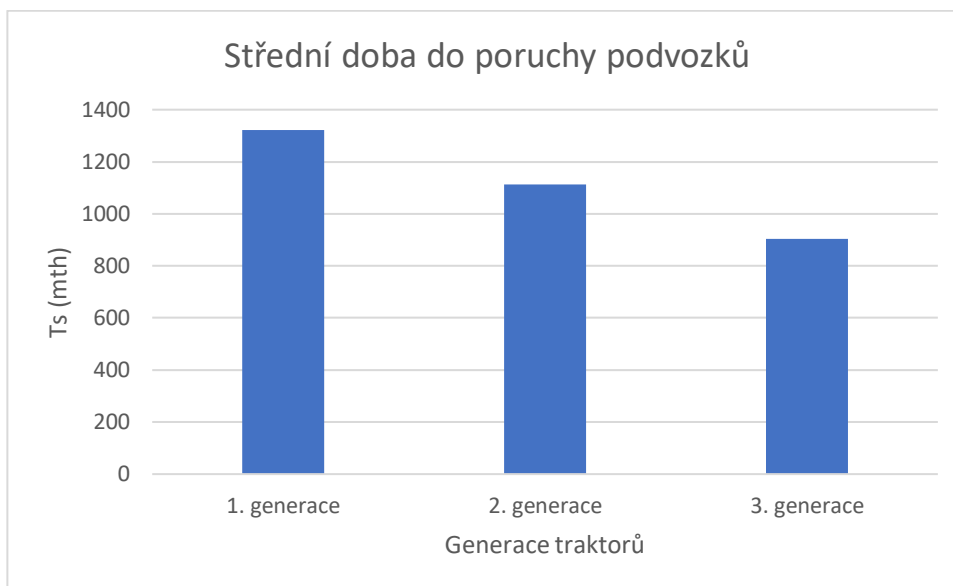
Obrázek 24 Graf střední doby do poruchy brzd [autor]

Střední doba do poruchy kabiny je u první a druhé generace docela vyrovnaná. Naopak třetí generace v tomto srovnání docela zaostává. Je zde opět potřeba připomenout, že traktory třetí generace mají naježděno málo mth a každá chyba výsledek této zkoušky velmi ovlivní.



Obrázek 25 Graf střední doby do poruchy kabiny [autor]

Častými opravovanými částmi podvozků bylo jejich odpružení a také pohon přední nápravy. Po nájezdu více než pěti tisíc motohodin bylo nutné vyměnit nebo opravit kříže u kardanů pohonu přední nápravy nebo přetěsnění koncových převodů. Z analýzy vyplývá, že nespolehlivější podvozky má 1 generace.



Obrázek 26 Graf střední doby do poruchy podvozků [autor]

5.3 Střední doba v údržbě Tsu jednotlivých traktorů

V této kapitole se věnuji analýze a porovnání střední doby v údržbě u jednotlivých traktorů všech tří generací. Opět jsou v tabulkách uvedeny výsledky výpočtů a následně jsou zobrazeny i graficky.

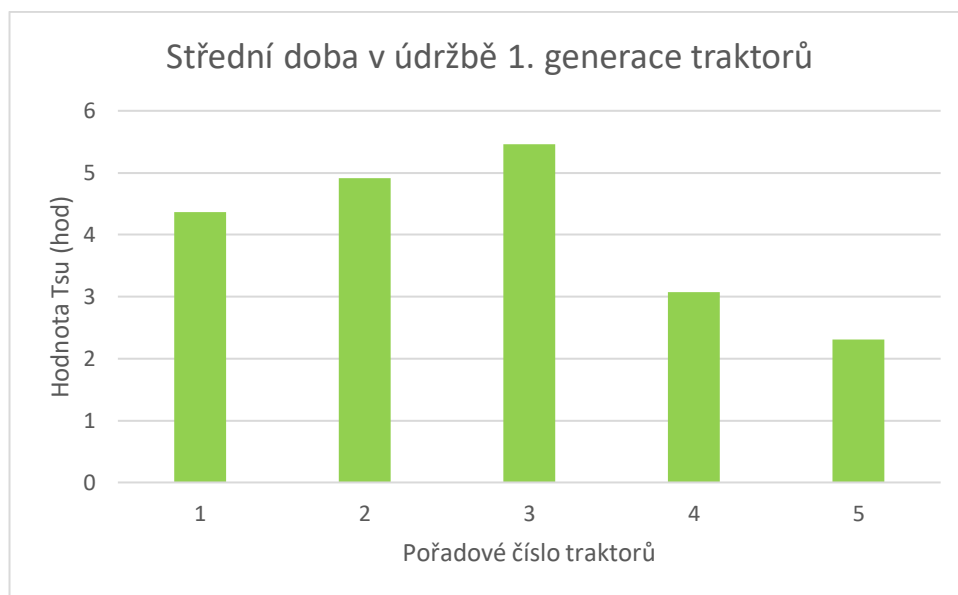
Ukázka výpočtu pro traktor č.1:

$$T_{SU} = \frac{2 \cdot T_{AKU}}{\chi^2_{v,C}} = \frac{2 \cdot 196,5}{\chi^2_{74;0,9}} = 4,4 \text{ hod}$$

Z výsledků v tabulce a grafického znázornění této analýzy je patrné, že s rostoucím počtem najetých motohodin roste střední doba v údržbě. Je to z toho důvodu, že všechny konstrukční části traktorů může postupem času doléhat únava materiálu. Opravy jednotlivých poruch pak zabírají více času a jsou taky nákladnější. Z tabulky výsledných hodnot se jeví traktor č.3 jako nejvíce poruchový. Průměrná hodnota střední doby v údržbě je pro první generaci 4,04 hodin.

Tabulka 8 Hodnoty střední doby v údržbě 1. generace traktorů [autor]

1. generace					
p. č.	mth	počet poruch	hodin v opravě	v	Tsu
1	8621	36	196,5	74	4,4
2	12491	37	226,5	76	4,9
3	8420	52	341,5	106	5,5
4	6623	41	155	84	3,1
5	5572	20	62,5	42	2,3

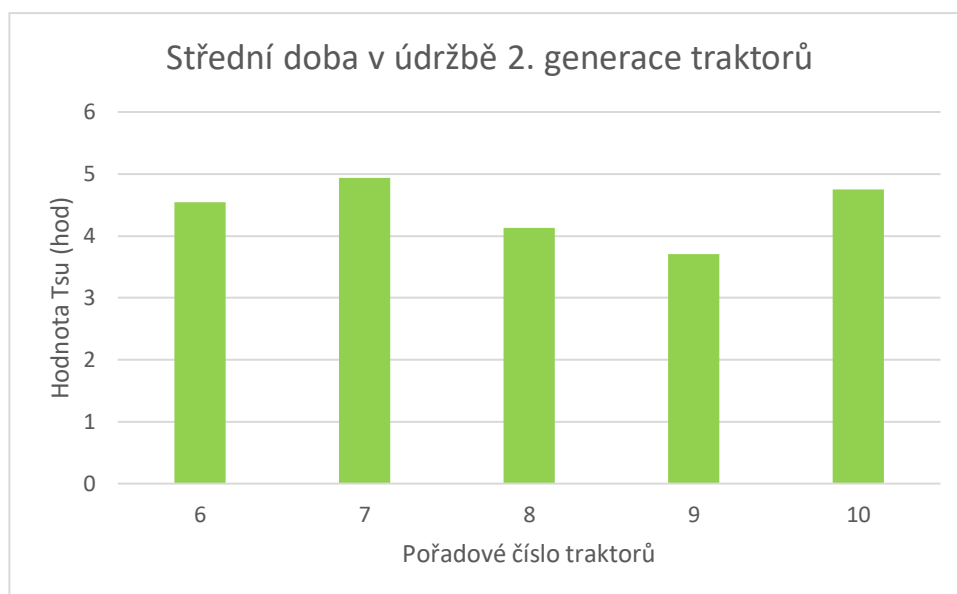


Obrázek 27 Graf střední doby v údržbě 1. generace traktorů [autor]

Z výsledků analýzy pro druhou generaci traktorů je patrné, že nejvíce poruchovým je traktor č.6. Avšak nejdelší střední dobu v údržbě má traktor č.7 a hned za ním traktor č.10. I u těchto výsledků vidíme, že s narůstajícím počtem najetých mth roste i počet poruch a střední doba v údržbě. Nejkratší střední dobu v údržbě má totiž traktor s nejméně najetými mth. Průměrná hodnota střední doby v údržbě činí pro první generaci 4,4 hodin. To je o 0,36 hod více než u první generace.

Tabulka 9 Hodnoty střední doby v údržbě 2. generace traktorů [autor]

2. generace					
p. č.	mth	počet poruch	hodin v opravě	v	Tsu
6	10923	67	357,5	136	4,5
7	9183	39	238,5	80	4,9
8	6290	17	97,5	36	4,1
9	5400	17	87,5	36	3,7
10	9561	37	219	76	4,8

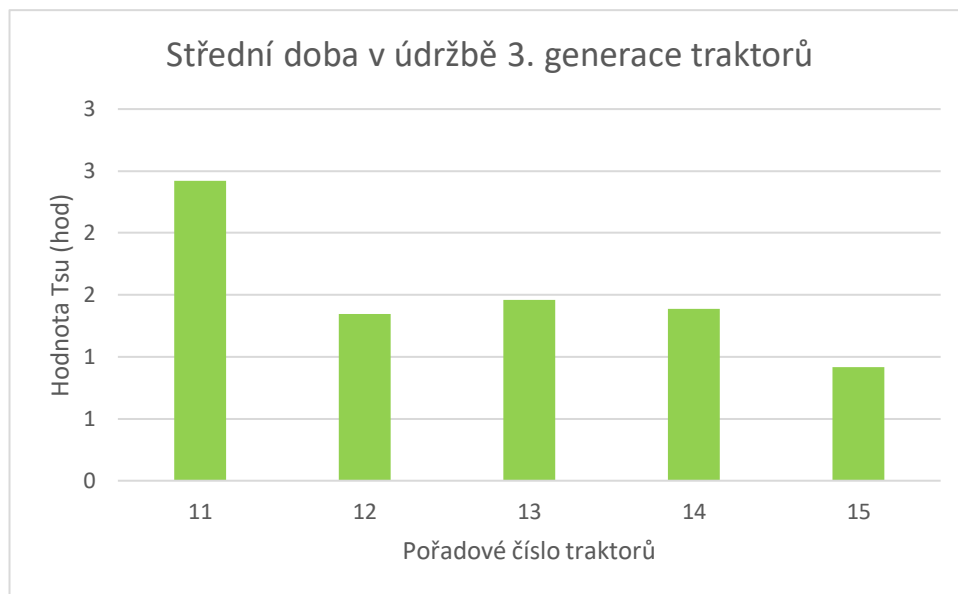


Obrázek 28 Graf střední doby v údržbě 2. generace traktorů [autor]

Stejně jako u výsledků předchozích dvou generací zde vyplývá, že s rostoucím počtem najetých motohodin roste i hodnota střední doby v údržbě. Traktor č.15 má poměrně hodně poruch, aniž by najel aspoň 1000 mth. Nejméně poruchovým testovaným traktorem v této generaci je jednoznačně traktor č.13. Má totiž stejný počet poruch a skoro stejnou střední dobu v údržbě jako traktor č.14 ale počet najetých mth má 2x větší. Pro tuto generaci je hodnota průměrné střední doby v údržbě 1,5 hodin.

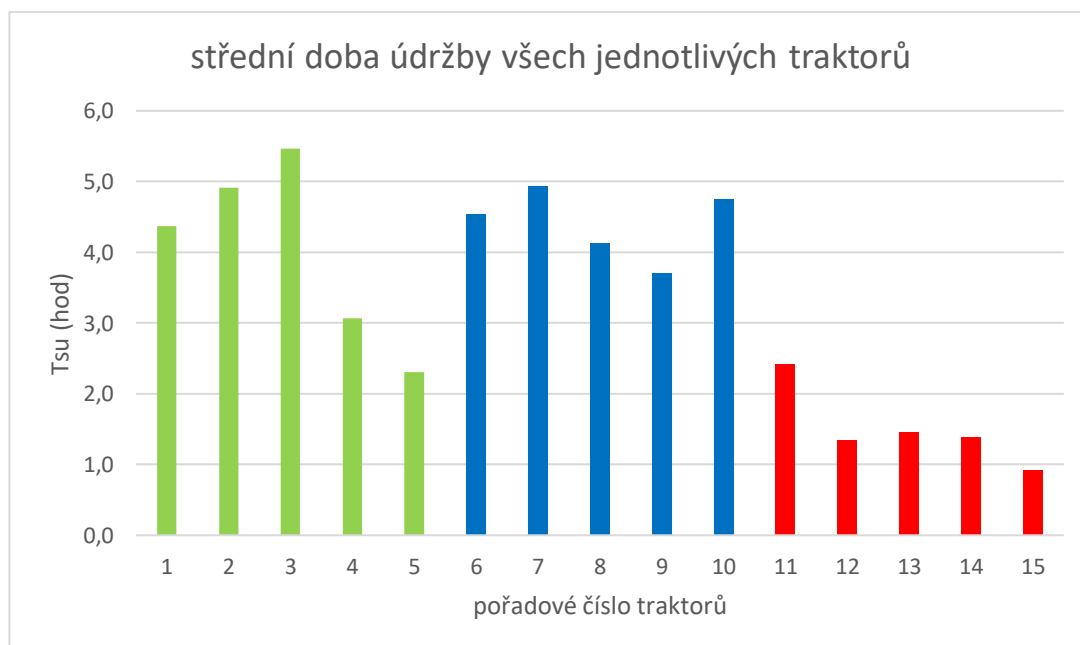
Tabulka 10 Hodnoty střední doby v údržbě 3. generace traktorů [autor]

3. generace					
p. č.	mth	počet poruch	hodin v opravě	v	Tsu
11	3611	20	65,5	42	2,4
12	1204	5	12,5	12	1,3
13	3381	8	19	18	1,5
14	1672	8	18	18	1,4
15	778	5	8,5	12	0,9



Obrázek 29 Graf střední doby v údržbě 3. generace traktorů [autor]

Z toho souhrnného grafického vyjádření je patrné, že s rostoucím počtem mth roste i střední doba v údržbě. U třetí generace jsou hodnoty Tsu výrazně menší než u první a třetí generace ale postupem času se tyto hodnoty budou zvyšovat. Stejně tak se bude zvyšovat i počet poruch.



Obrázek 30 Graf střední doby údržby všech jednotlivých traktorů [autor]

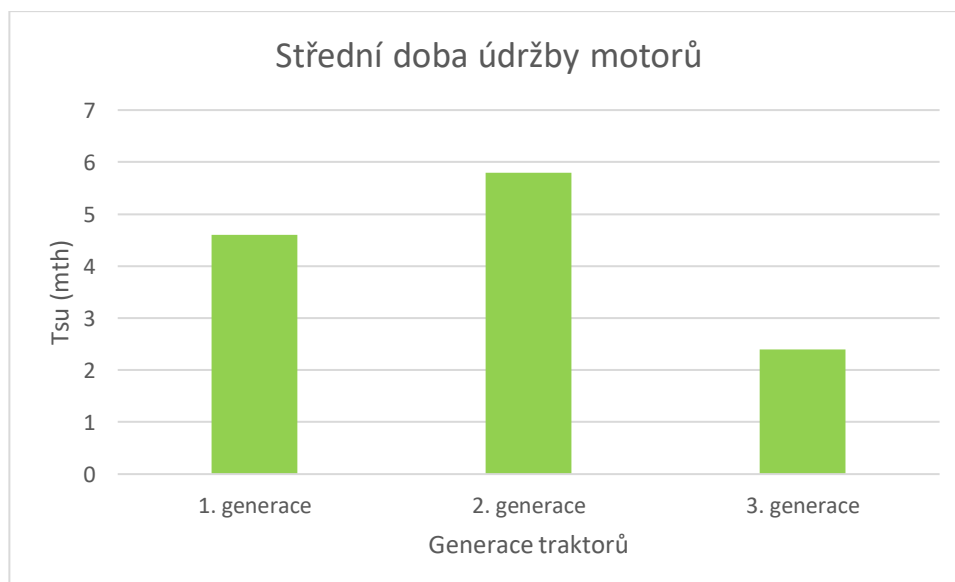
5.4 Střední doba v údržbě jednotlivých konstrukčních skupin

Následující kapitola je zaměřena na porovnání střední doby v údržbě mezi konstrukčními skupinami vybraných traktorů.

Tabulka 11 Střední doba v údržbě T_{su} u jednotlivých konstrukčních skupin [autor]

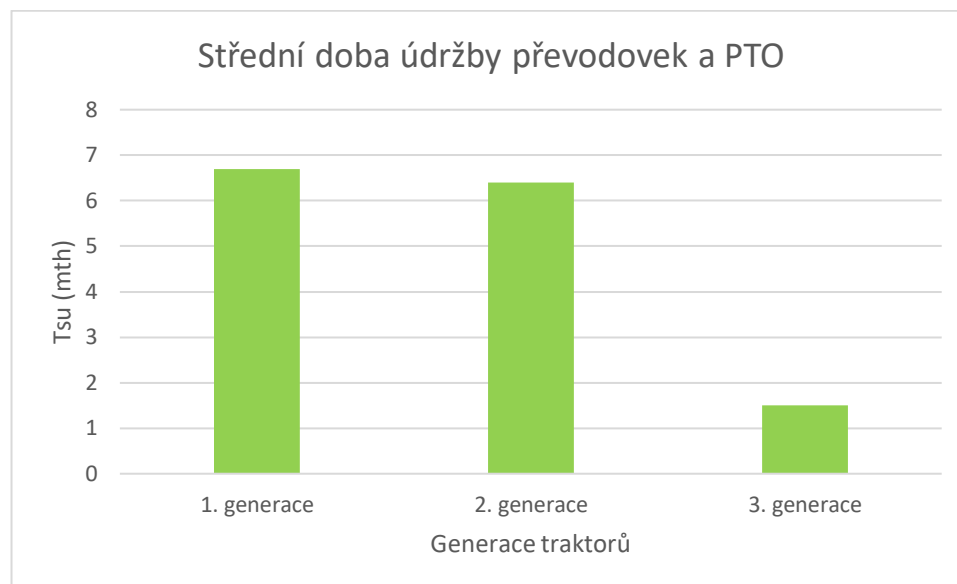
Skupina	1. generace	2. generace	3. generace
motor	4,6	5,8	2,4
převodovka a PTO	6,7	6,4	1,5
hydraulika	3,3	4,6	1,7
elektronika	1,6	2,3	1,2
brzdy	2,6	3,2	0,4
kabina	2,7	3	1,6
podvozek	5,3	4,9	1,5

Z následujícího grafu je zřejmé, že nejdelší střední dobu v údržbě mají motory u druhé generace traktorů. U třetí generace nemají zatím traktory moc najeto, a proto je jejich hodnota T_{su} tak nízká. Traktory druhé generace mají v součtu najeto skoro stejný počet hodin jako traktory první generace a jejich porovnání je vhodné. Jak již bylo zmíněno výše mají traktory druhé generace navíc systém SCR pro snižování emisí oproti první generaci, a to se promítlo do celkového počtu poruch i střední doby v údržbě.



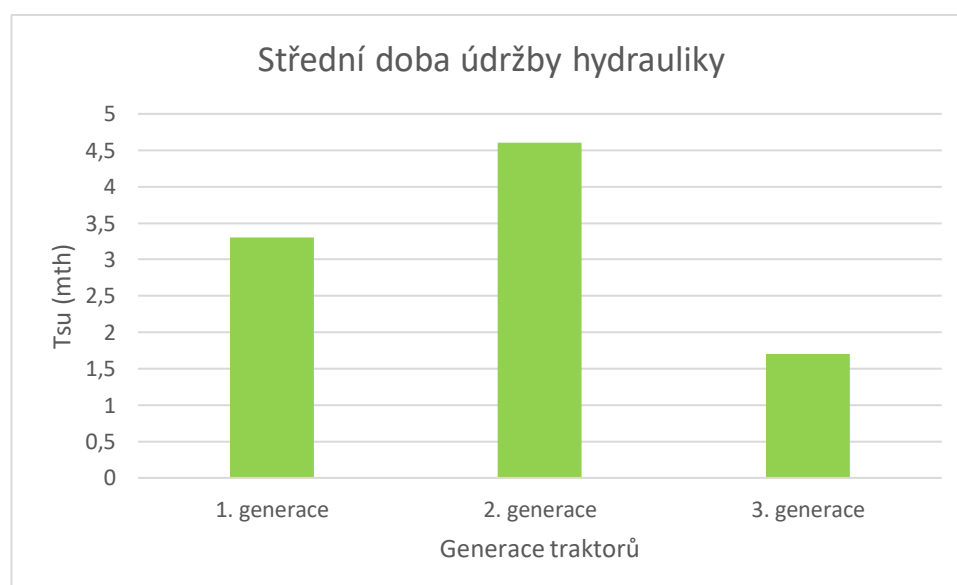
Obrázek 31 Graf střední doby údržby motorů [autor]

Střední doba v údržbě převodovek a PTO je u první a druhé generace téměř stejná. Co se týká počtu poruch je na tom první generace o dost hůř oproti druhé. Traktory obou generací mají v součtu skoro stejný počet mth ale u první generace je počet poruch převodovek a PTO avšak u druhé generace 24.



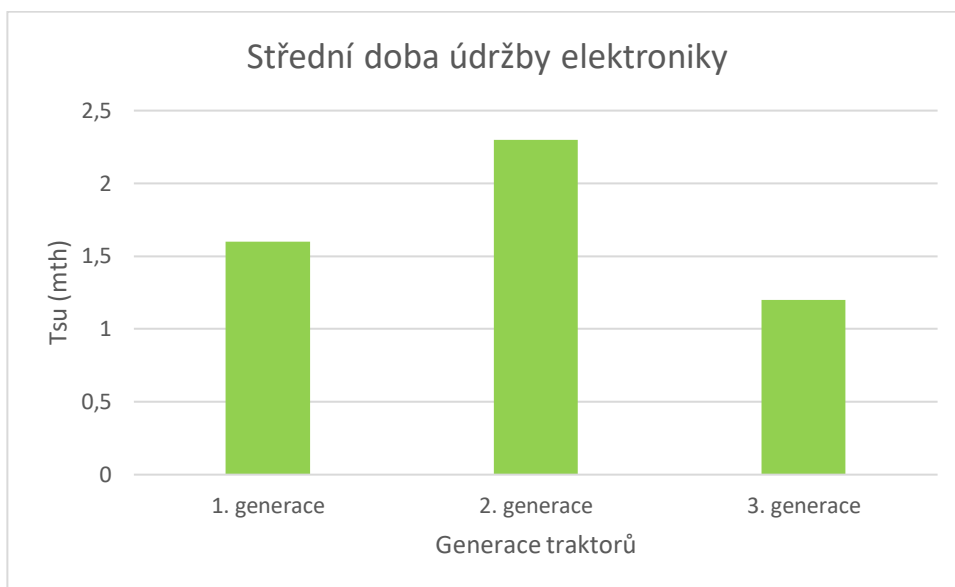
Obrázek 32 Graf střední doby údržby převodovek a PTO [autor]

U výsledků analýzy střední doby v údržbě hydrauliky vychází nejhůře jednoznačně druhá generace. Počet poruch je u druhé generace skoro stejný jako u první ale počet hodin v opravě u všech poruch je o skoro 70 hodin delší.



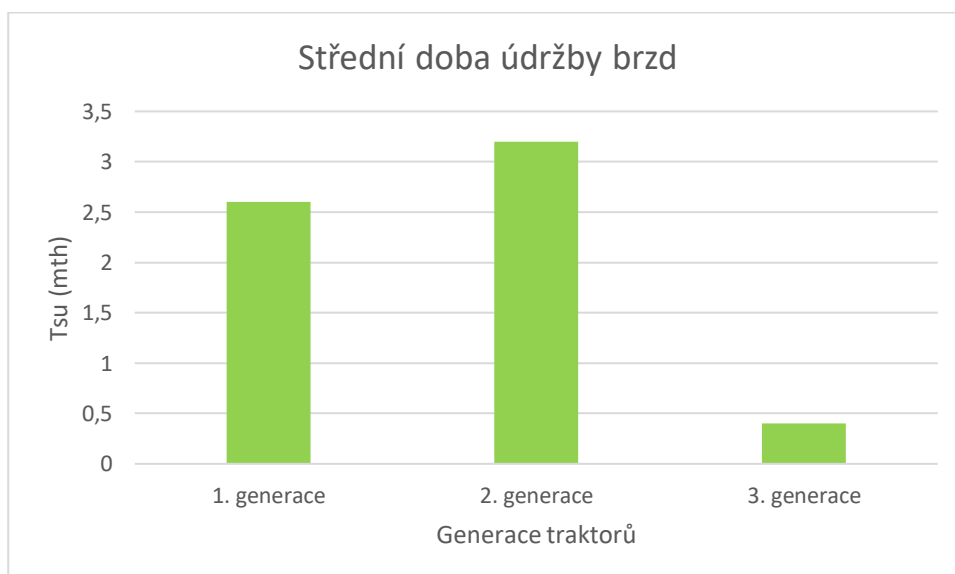
Obrázek 33 Graf střední doby údržby hydrauliky [autor]

Dle výsledků střední doby údržby na následujícím grafu je vidět, že střední doba v údržbě je pro druhou generaci delší než pro první. Hlavním důvodem je, že počet dílů elektroniky a elektronických systémů každou generaci roste a jejich opravy jsou proto časově náročnější. Také celkový počet poruch mezi první a druhou generací malinko vzrostl.



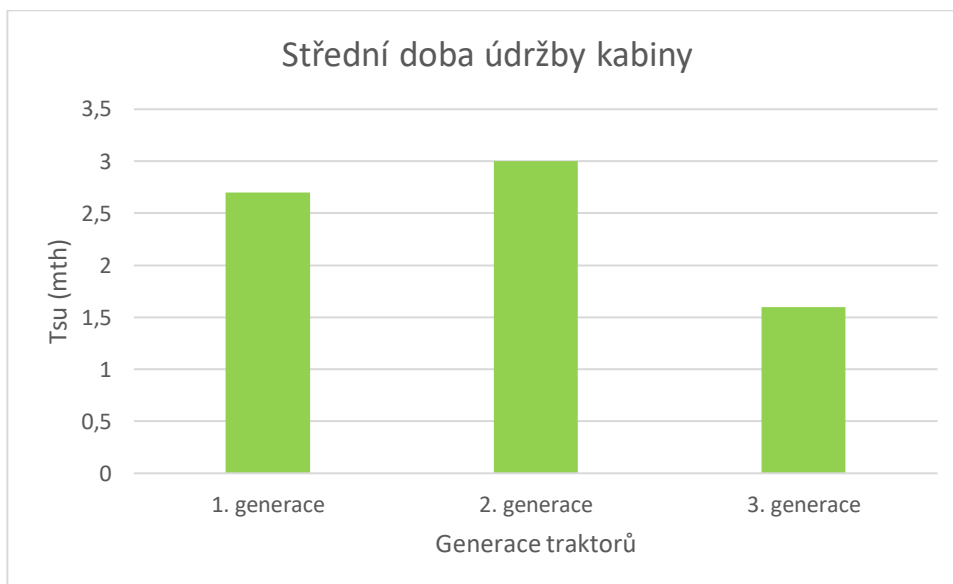
Obrázek 34 Graf střední doby údržby elektroniky [autor]

U brzdového systému třetí generace je patrné, že náročnější opravy jako výměna brzdových kotoučů, lamel, lanek se ještě neprojeví. Proto počet poruch a střední doba v údržbě je tak nízká. Brzdy byly častěji poruchové u první generace, než u druhé ale doba oprav byla delší u druhé generace.



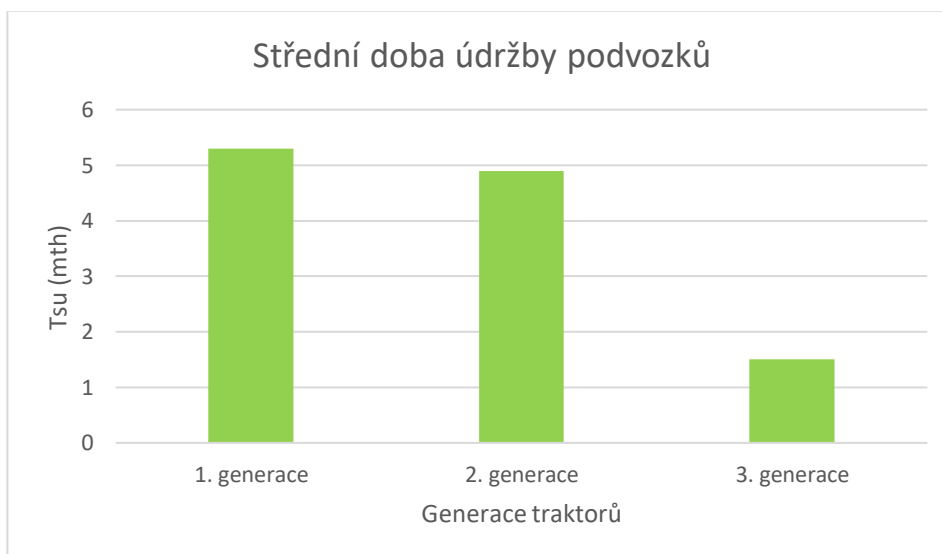
Obrázek 35 Graf střední doby údržby brzd [autor]

U výsledků analýzy pro střední dobu údržby kabiny je vidět, že některé poruchy jako výměna páky pojezdu, páček hydrauliky, opravy klimatizace se ještě u třetí generace neprojevily, protože traktory mají zatím najeto málo mth. Počet poruch všech traktorů druhé generace je jen o jednu více než u první generace ovšem střední doba těchto oprav je u druhé generace větší.



Obrázek 36 Graf střední doby údržby kabiny [autor]

Poslední testovanou konstrukční skupinou v této podkapitole byly podvozky. U třetí generace se opět ještě neprojevily některé časově i finančně náročnější opravy jako přetěsnění koncových převodů, oprava kardanů pohonu přední nápravy atd. U srovnání první a druhé generace má střední doba údržby traktorů druhé generace drobný pokles oproti první. Ovšem počet poruch podvozků je u druhé generace větší než u první.



Obrázek 37 Graf střední doby údržby podvozků [autor]

5.5 Celkové náklady na údržbu jednotlivých traktorů

V této kapitole se věnuji analýze a porovnání celkových nákladů na údržbu mezi jednotlivými traktory. V ceně jednotlivých oprav je zahrnuta cena všech použitých dílů, finanční ohodnocení servisních techniků a v některých případech také doprava traktoru na servisní středisko a zpět. K výpočtu těchto nákladů jsem použil výpočet pomocí horního a dolního odhadu, aby bylo patrné, v jakém cenovém rozmezí se mohou tyto náklady pohybovat.

Ukázka výpočtů pro traktor č.1:

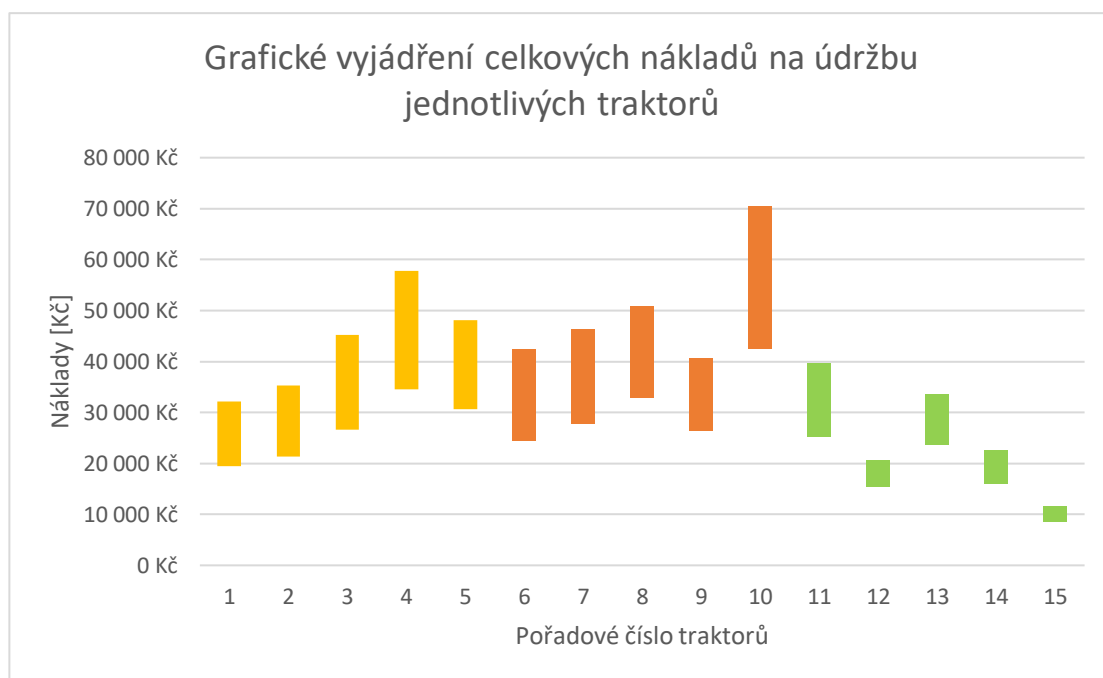
$$T_{SH} = \frac{2 \cdot T_{AKU}}{\chi_{v,C}^2} = \frac{2 \cdot 572\,087}{\chi_{74;0,1}^2} = 19\,426 \text{ Kč}$$

$$T_{SD} = \frac{2 \cdot T_{AKU}}{\chi_{v,C}^2} = \frac{2 \cdot 572\,087}{\chi_{74;0,9}^2} = 12\,719 \text{ Kč}$$

Z výsledných hodnot v následující tabulce a grafickém znázornění vyplývá, že nejvíce nákladově náročným traktorem je č.10. Jeho rozmezí horního a dolního odhadu nákladů je o dost vyšší než u ostatních traktorů. Traktory třetí generace mají zatím málo najetých hodin a jejich rozmezí nákladů na údržbu je poměrně malé. Postupem času však toto rozmezí bude stoupat. Při srovnání mezi první a druhou generací se jeví nejméně nákladný traktor č.1.

Tabulka 12 Hodnoty nákladů na údržbu jednotlivých traktorů [autor]

Celkové náklady na údržbu jednotlivých traktorů						
p. č.	mth	celkové náklady na údržbu	počet poruch	v	horní odhad celkových nákladů	dolní odhad celkových nákladů
1	8621	572 087 Kč	36	74	19 426 Kč	12 719 Kč
2	12491	646 712 Kč	37	76	21 312 Kč	14 034 Kč
3	8420	1 167 432 Kč	52	106	26 587 Kč	18 674 Kč
4	6623	1 171 678 Kč	41	84	34 524 Kč	23 206 Kč
5	5572	472 193 Kč	20	42	30 696 Kč	17 459 Kč
6	10923	1 407 522 Kč	67	136	24 407 Kč	17 871 Kč
7	9183	893 568 Kč	39	80	27 803 Kč	18 505 Kč
8	6290	422 124 Kč	17	36	32 923 Kč	17 882 Kč
9	5400	338 154 Kč	17	36	26 374 Kč	14 325 Kč
10	9561	1 287 713 Kč	37	76	42 436 Kč	27 943 Kč
11	3611	388 425 Kč	20	42	25 251 Kč	14 362 Kč
12	1204	48 805 Kč	5	12	15 484 Kč	5 262 Kč
13	3381	128 384 Kč	8	18	23 633 Kč	9 880 Kč
14	1672	86 607 Kč	8	18	15 942 Kč	6 665 Kč
15	778	27 302 Kč	5	12	8 662 Kč	2 944 Kč



Obrázek 38 Graf celkových nákladů na údržbu jednotlivých traktorů [autor]

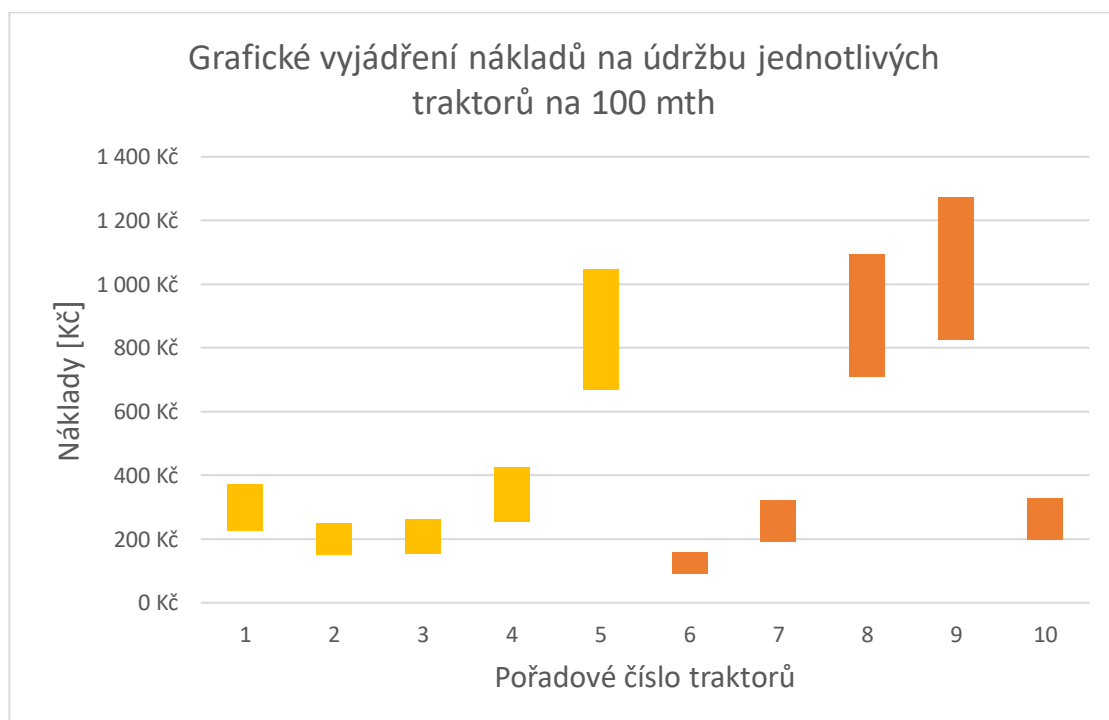
5.6 Celkové náklady na údržbu traktorů na 100 mth

Zde se věnuji porovnání celkových nákladů na údržbu na 100 mth, protože v předchozí kapitole není brán zřetel na počet najetých mth. Porovnávám pouze první a druhou generaci, protože u třetí generace mají traktory najeto málo motohodin a jejich výsledky jsou dost zkreslené a v porovnání i velmi vysoké.

V minulé kapitole se jevil nejvíce nákladný traktor č.10 a nejméně nákladný traktor č.1. V této analýze jsou však výsledky zcela rozdílné. V tomto porovnání se jeví jako nákladově nejúspornější traktor č.6 a nejvíce nákladný traktor č.9. V těchto výpočtech se totiž zohledňuje i počet najetých mth, a proto jsou výsledky o tolik rozdílné oproti předchozí kapitole.

Tabulka 13 Hodnoty nákladů na údržbu na 100 mth jednotlivých traktorů [autor]

Náklady na údržbu jednotlivých traktorů na 100 mth							
p. č.	mth	celkové náklady na údržbu	náklady na údržbu 100 mth	počet poruch	v	horní odhad nákladů na 100 mth	dolní odhad nákladů na 100 mth
1	8621	66 Kč	6 636 Kč	36	74	225 Kč	148 Kč
2	12491	46 Kč	4 580 Kč	37	76	151 Kč	99 Kč
3	8420	68 Kč	6 794 Kč	52	106	155 Kč	109 Kč
4	6623	86 Kč	8 638 Kč	41	84	255 Kč	171 Kč
5	5572	103 Kč	10 267 Kč	20	42	667 Kč	380 Kč
6	10923	52 Kč	5 237 Kč	67	136	91 Kč	66 Kč
7	9183	62 Kč	6 230 Kč	39	80	194 Kč	129 Kč
8	6290	91 Kč	9 095 Kč	17	36	709 Kč	385 Kč
9	5400	106 Kč	10 594 Kč	17	36	826 Kč	449 Kč
10	9561	60 Kč	5 984 Kč	37	76	197 Kč	130 Kč



Obrázek 39 Graf nákladů na údržbu jednotlivých traktorů na 100 mth [autor]

6. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo určit dosaženou úroveň provozní bezporuchovosti, udržitelnosti třech generací traktorů Case Puma CVX. Podle výsledků jednotlivých analýz jsem provedl vzájemné porovnání hodnocených traktorů. Veškeré zpracování a výpočet experimentálních dat probíhalo v programu MS Excel.

Z výsledného porovnání dat je patrné, že třetí generace traktorů Case má najeto poměrně málo motohodin a je potřeba brát výsledky u této generace s určitou rezervou. U mezigeneračního porovnání konstrukčních skupin jsou výsledky velmi zajímavé. Například u motorů se střední doba do poruchy postupnými generacemi snižovala. Je to z toho důvodu, že motory druhé a třetí generace disponují systémem pro snížení emisí výfukových spalín. To znamená, že v této konstrukční skupině je víc dílů, které se mohou pokazit.

U brzd a podvozků 3 generace traktorů je patrné, že nákladnější a časově delší opravy se u těchto traktorů zatím neprojeví. Tyto traktory jsou totiž novější a nemají ještě najeto tolik motohodin jako předchodí dvě generace.

Při výpočtu nákladů na údržbu jsou výsledné hodnoty velmi rozdílné. V kapitole 5.5 je totiž zohledněn jen celkový počet poruch a celková cena všech oprav jednotlivých traktorů. Avšak v kapitole 5.6 se naopak zohledňuje počet najetých motohodin pro výpočet nákladů na údržbu. Proto jsou mezi těmito výpočty takové rozdíly. Výpočty pro třetí generaci traktorů v kapitole 5.6 jsem vynechal, protože výsledky byly dost zavádějící.

7. Seznam použité literatury

1. Daniel, Q., Lorimer M. Encyklopedie Traktory. ISBN 80-7234-543-5
2. Classic farm tractors J. I. Case [online]. [cit. 9.5.2021] Dostupné z: <https://avenueart.wordpress.com/classic-farm-tractors/case-new-holland/case/>
3. CASE PUMA CVX první generace: Příručka obsluhy. 1. vydání. CNH Global N.V., 2009
4. Agri CS. Case ih agriculture Puma CVX [online], [cit. 3.4.2021] Dostupné z: https://www.dsagro.cz/media/uploads/prodej_case/case-ih-propuma-cvx-web-cz-8d79e4.pdf
5. CASE PUMA CVX druhá generace: Příručka obsluhy. 2. vydání. CNH Europe Holding S.A., 2011
6. Agri CS. Prospekt Puma CVX [online], [cit. 3.4.2021] Dostupné z: <http://www.cerea-zt.cz/obrazky-soubory/prospekt-puma-cvx-ep-2e5d7.pdf?redir>
7. CASE PUMA CVX třetí generace: Příručka obsluhy. 2. vydání. CNH Industrial Österreich GmbH, 2018
8. Agri CS. Puma [online], [cit. 3.4.2021] Dostupné z: <http://www.agrics.hu/obrazky-soubory/puma-7ceac-32c33.pdf?redir>
9. Kulovaná, E., Mechanizace zemědělství [online], [cit. 10.4.2021] Dostupné z: <https://www.mechanizaceweb.cz/traktory-case-ih-serie-cvx-a-steyr-serie-cvt/>
10. Famfulík, J., Míková, J., Krzyžánek, R., Teorie údržby. 1. vyd., VŠB – TU Ostrava, 2007. ISBN 80-248-1029-8.
11. FAMFULÍK, J, R KRZYŽANEK a V HRANOŠ. Spolehlivost pozemní dopravy. 2. vyd., Ostrava, 2017. ISBN 978-80-248-1509-1.

8. Seznam tabulek

Tabulka 1 Popisování zkušebních plánů [11]	27
Tabulka 2 Seznam analyzovaných traktorů [autor]	30
Tabulka 3 Seznam poruch pro traktor Case č.1 [autor]	32
Tabulka 4 Hodnoty střední doby do poruchy 1. generace traktorů [autor]	33
Tabulka 5 Hodnoty střední doby do poruchy 2. generace traktorů [autor]	34
Tabulka 6 Hodnoty střední doby do poruchy 3. generace traktorů [autor]	35
Tabulka 7 Střední doba do poruchy Ts u jednotlivých konstrukčních skupin [autor]	37
Tabulka 8 Hodnoty střední doby v údržbě 1. generace traktorů [autor]	42
Tabulka 9 Hodnoty střední doby v údržbě 2. generace traktorů [autor]	42
Tabulka 10 Hodnoty střední doby v údržbě 3. generace traktorů [autor]	43
Tabulka 11 Střední doba v údržbě Ts u jednotlivých konstrukčních skupin [autor]	45
Tabulka 12 Hodnoty nákladů na údržbu jednotlivých traktorů [autor]	49
Tabulka 13 Hodnoty nákladů na údržbu na 100 mth jednotlivých traktorů [autor]	51

9. Seznam obrázků

Obrázek 1 logo firmy J. I. Case Company [2]	10
Obrázek 2 Case Puma 225 CVX první generace [4]	12
Obrázek 3 Šestiválcový motor traktorů Case Puma CVX [4]	12
Obrázek 4 kabina traktorů Case Puma CVX první generace [4]	14
Obrázek 5 Case Puma 230 CVX druhé generace [6]	15
Obrázek 6 Case puma 240 CVX třetí generace [autor]	16
Obrázek 7 Spolehlivost podle ISO 9000:2000 [10]	17
Obrázek 8 Spolehlivost dle IEC 50 (191) [10]	18
Obrázek 10 Graf Histogramu četností [10]	20
Obrázek 11 Graf Hustoty pravděpodobnosti [autor]	21
Obrázek 13 Graf Vlivu změny parametru tvaru m na intenzitu poruch [autor]	22
Obrázek 14 Hustota pravděpodobnosti W2p v závislosti na parametru m [autor]	23
Obrázek 15 Průběh hustoty pravděpodobnosti exponenciálního rozdělení [autor]	24
Obrázek 16 Graf Průběhu distribuční funkce exponenciálního rozdělení [autor]	25
Obrázek 17 Grafické znázornění t-plánu [11]	28
Obrázek 18 Graf střední doby do poruchy 1. generace traktorů [autor]	34
Obrázek 19 Graf střední doby do poruchy 2. generace traktorů [autor]	35
Obrázek 20 Graf střední doby do poruchy 3. generace traktorů [autor]	36
Obrázek 21 Graf střední doby do poruchy všech jednotlivých traktorů [autor]	36
Obrázek 22 Graf střední doby do poruchy motorů [autor]	37
Obrázek 23 Graf střední doby do poruchy převodovek a PTO [autor]	38
Obrázek 24 Graf střední doby do poruchy hydrauliky [autor]	39
Obrázek 25 Graf střední doby do poruchy elektroniky [autor]	39
Obrázek 26 Graf střední doby do poruchy brzd [autor]	40
Obrázek 27 Graf střední doby do poruchy kabiny [autor]	40
Obrázek 28 Graf střední doby do poruchy podvozků [autor]	41
Obrázek 29 Graf střední doby v údržbě 1. generace traktorů [autor]	42
Obrázek 30 Graf střední doby v údržbě 2. generace traktorů [autor]	43
Obrázek 31 Graf střední doby v údržbě 3. generace traktorů [autor]	44
Obrázek 32 Graf střední doby údržby všech jednotlivých traktorů [autor]	44
Obrázek 33 Graf střední doby údržby motorů [autor]	45
Obrázek 34 Graf střední doby údržby převodovek a PTO [autor]	46
Obrázek 35 Graf střední doby údržby hydrauliky [autor]	46
Obrázek 36 Graf střední doby údržby elektroniky [autor]	47
Obrázek 37 Graf střední doby údržby brzd [autor]	47
Obrázek 38 Graf střední doby údržby kabiny [autor]	48
Obrázek 39 Graf střední doby údržby podvozků [autor]	48
Obrázek 40 Graf celkových nákladů na údržbu jednotlivých traktorů [autor]	50
Obrázek 41 Graf nákladů na údržbu jednotlivých traktorů na 100 mth [autor]	51

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Záznamy oprav traktorů Case

Příloha B: Výpočty a jejich grafické znázornění pro traktory Case